

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

III

15199

L. inw.

6

BIBLIOTHEK  
Kgl. Eisenb.-Dir. Breslau  
Sigs. *T 243*  
*Ec*

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298638

III 15199

W 1/2





HANDBUCH  
DER  
INGENIEURWISSENSCHAFTEN

in fünf Bänden.

---

**Erster Band:**  
**Vorarbeiten, Erd-, Grund-, Straßsen-  
und Tunnelbau.**

Herausgegeben

von

**L. von Willmann.**

---

Fünfte Abteilung.

Dritte vermehrte Auflage.

---

**Leipzig.**  
Verlag von Wilhelm Engelmann.  
1902.

# VORARBEITEN, ERD-, GRUND-, STRASSEN- UND TUNNELBAU.

Handbuch der Ingenieurwissenschaften I. Band. *3. Aufl.*

Fünfte Abteilung. *5 Bände*

## Der Tunnelbau.

Bearbeitet von

**E. Mackensen,**

Geh. Baurat in Berlin

herausgegeben von

**L. von Willmann,**

Professor an der Technischen Hochschule in Darmstadt.

Dritte vermehrte Auflage.

Mit 289 Textfiguren, vollständigem Sachregister und 11 lithographierten Tafeln.

---

**Leipzig.**

Verlag von Wilhelm Engelmann.

1902.





III - 306609

*Alle Rechte, insbesondere das Recht der Übersetzung,  
sind vorbehalten.*

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

~~III 15199~~

Akc. Nr.

~~751~~ / 56

BPK-13 381/2017

## Vorwort zur dritten Auflage.

---

Im Vergleich mit den früheren Auflagen des vorliegenden Kapitels IX ist zu erwähnen, dass, abgesehen von der ihrem heutigen Stande entsprechenden Ergänzung und Umarbeitung der einzelnen Abschnitte, ein ganz neuer Teilabschnitt (§ 81 bis 86) den „Tunnelbauten mit Verwendung besonderer Hilfsmittel“ zugewiesen wurde, da in neuerer Zeit solche besondere Hilfsmittel, wie Schilde, Senkkasten u. s. w., nicht blofs für Unterwassertunnel, sondern auch vielfach für die unterirdische Führung von Eisenbahnen in Großstädten angewendet werden und diese Ausführungsweisen nicht nur eine große Entwicklung erfahren, sondern auch eine außerordentliche Bedeutung gewonnen haben. Daher erschien die frühere gesonderte Besprechung der Unterwassertunnel nicht mehr begründet, und nur soweit die gewöhnliche bergmännische Bauweise für sie in Frage kommt, wurden sie im vorhergehenden Abschnitt, in § 80, gesondert behandelt.

Eine weitere Neuerung bildet die Besprechung der „Lüftung im Betrieb befindlicher Tunnel“ im § 107, die erforderlich wurde, da in einer Anzahl langer Tunnel, infolge des gewaltig gesteigerten Verkehrs, gut ausgebildete Lüftungsvorrichtungen zur unbedingten Notwendigkeit geworden sind.

Hinsichtlich der Umarbeitung des Abschnittes über Bohrmaschinen wurde das Neueste berücksichtigt und dabei der Standpunkt eingenommen, dass eine orientierende Besprechung derselben in einem Werke über Tunnelbau nicht entbehrt werden kann, während bezüglich ihrer Einzelheiten auf die Kapitel VI und VIII des IV. Bandes (2. Aufl.) dieses Handbuches zu verweisen ist. Mit Rücksicht auf diesen für die Einheitlichkeit des Handbuches notwendig gewordenen Hinweis, nicht etwa um eine geringere Bedeutung dieses Gegenstandes für den Tunnelingenieur dadurch ausdrücken zu wollen, wurde für die betreffenden Textteile Kleindruck gewählt.

Dem neuerdings geltenden Grundsatz, unter Einschränkung der Anzahl lithographierter Tafeln, die zeichnerischen Darstellungen möglichst als Textfiguren zu bringen, wurde nachzukommen gesucht, während andererseits bei der Umarbeitung der Tafeln darauf geachtet wurde, ihre Übersichtlichkeit zu erhöhen, was zum Zusammenlegen der früheren Tafeln XIII und XIV, XVI und XVII, sowie XVIII und XIX zu je einer Tafel: III, V bzw. VI führte. Diese drei neuen Tafeln gewähren den Vorteil, je zwei Tunnel-Bauweisen nebeneinander überblicken und unmittelbar miteinander vergleichen zu können. Neu zusammengestellt, bzw. ergänzt, sind ferner die Tafeln II, IX und XI, während die Tafeln I, IV, VII, VIII und X, den früheren Tafeln IX, XV, XXI, XXII und XXIII entsprechend, mit nur geringen Abänderungen beibehalten wurden.

Das Sachregister wurde neu zusammengestellt und erweitert und die Litteraturzusammenstellungen wurden entsprechend vervollständigt, was insbesondere für die am Schlufs des Kapitels aufgenommenen Angaben über ausgeführte bzw. im Bau befindliche Tunnel gilt, während die im Text verteilten Litteraturzusammenstellungen sich nach Beginn des Druckes einer weiteren Ergänzung entzogen.

Allen, die uns durch freundliches Entgegenkommen in unserer Arbeit für die vorliegende 5. Abteilung des I. Bandes unterstützt haben, sei hier der beste Dank ausgesprochen. Einen besonderen Ausdruck für diesen Dank wünscht der Herr Verfasser an dieser Stelle zu geben: dem Herrn Regierungsbaumeister Rothsuh, Direktor der Gesellschaft für den Bau von Untergrundbahnen in Berlin, für seine eifrige Mitwirkung bei der gesamten neuen Bearbeitung, sowie dem Herrn Ingenieur Klüpfel, Inhaber der Firma Frölich & Klüpfel in Barmen, für Lieferung sehr schätzbaren Materials aus der Praxis des Maschinenbohrens in neuerer Zeit.

Darmstadt, den 28. Dezember 1901.

L. von Willmann.

# Handbuch der Ingenieurwissenschaften.

## Erster Band.

---

### Übersicht des Inhaltes der dritten Auflage.

#### Erste Abteilung.

- I. **Vorarbeiten für Eisenbahnen.** Nach der früheren Bearbeitung von R. Richard, Geh. Baurat in Magdeburg und E. Mackensen, Geh. Baurat in Berlin neu bearbeitet von L. Oberschulte, Königl. Eisenbahn-Bau- und Betriebsinspektor in Magdeburg, unter teilweiser Mitwirkung des Reg.-Baumeisters Henkes in Magdeburg.
- II. **Bauleitung.** Von Gustav Meyer, weiland Königl. Eisenbahnbau-Inspektor a. D. und Baudirektor in Osnabrück unter Mitwirkung des Reg.-Baumeisters Breuer in Kerpen bei Köln.

#### Zweite Abteilung.

- III. **Erd- und Felsarbeiten.** Von Gustav Meyer, weiland Königl. Eisenbahnbau-Inspektor a. D. und Baudirektor in Osnabrück.
- IV. **Erdrutschungen.** Von demselben.
- V. **Stütz- und Futtermauern.** Von E. Häseler, Geh. Hofrat und Professor an der Techn. Hochschule zu Braunschweig.

#### Dritte Abteilung.

- VI. **Der Grundbau unter Ausschluss der Druckluft-Gründungen.** Von L. von Willmann, Professor an der Techn. Hochschule zu Darmstadt, unter Benutzung der von weiland Eisenbahnbau-Inspektor a. D. und Baudirektor Gustav Meyer bearbeiteten 2. Auflage.
- VII. **Druckluft-Gründungen.** Von Conrad Zschokke, Professor am Eidgenössischen Polytechnikum zu Zürich.

#### Vierte Abteilung.

- VIII. **Der Strafsenbau einschl. der Strafsenbahnen.** Von F. Laissle, Oberbaurat u. Professor an der Techn. Hochschule zu Stuttgart unter teilweiser Mitwirkung des Eisenbahnbau-Inspectors Baltzer.

#### Fünfte Abteilung.

- IX. **Der Tunnelbau.** Von E. Mackensen, Geh. Baurat in Berlin, nach der früheren Bearbeitung von E. Mackensen und R. Richard, Geh. Baurat in Magdeburg.
-



# Inhalts-Verzeichnis.

Vorwort zur dritten Auflage . . . . .	Seite V
---------------------------------------	------------

## IX. Kapitel.

### Der Tunnelbau.

Bearbeitet von E. Mackensen, Geh. Baurat in Berlin.

(Mit Tafel I bis XI und 289 Textfiguren).

Einleitung . . . . .	1
----------------------	---

#### Erster Abschnitt.

#### Die bergmännischen Arbeiten und ihre Hilfsmittel im allgemeinen.

§ 1. Allgemeines . . . . .	7
----------------------------	---

##### *I. Das Lösen des Gesteins.*

§ 2. Einteilung der Gesteine in Bezug auf ihre Lösbarkeit . . . . .	8
---	---

##### **A. Die eigentlichen Häuerarbeiten.**

§ 3. Das Gezähe . . . . .	10
§ 4. Ausführung der eigentlichen Häuerarbeit in mildem und gebrächem Gebirge . . . . .	13
§ 5. Frühere Ausführungsweisen beim Lösen der festen Gesteine . . . . .	13

##### **B. Die Sprengarbeit ohne Anwendung von Maschinen.**

§ 6. Allgemeines . . . . .	14
----------------------------	----

##### a) Das Handbohren.

§ 7. Das Bohrgezähe . . . . .	15
§ 8. Ausführung des Handbohrens . . . . .	17

##### b) Das Laden, Besetzen und Zünden.

§ 9. Die Sprengstoffe im allgemeinen . . . . .	19
§ 10. Das Schwarzpulver . . . . .	20
§ 11. Die Nitroglycerin-Erzeugnisse . . . . .	22
1. Das Nitroglycerin . . . . .	22
2. Das Dynamit . . . . .	24
3. Die Sprengelatine . . . . .	26
4. Das Gelatinedynamit . . . . .	26
§ 12. Beförderung und Aufbewahrung von Sprengmitteln . . . . .	28
1. Die Zulassung zur Beförderung von Sprengstoffen aller Art . . . . .	28
2. Die Bestimmungen und Verordnungen über den Verkehr mit Sprengstoffen . . . . .	30
§ 13. Vergleichung der verschiedenen Sprengstoffe . . . . .	35
§ 14. Die Zünder . . . . .	37
§ 15. Die elektrische Zündung . . . . .	39
1. Die Glühzünder . . . . .	40
2. Die Funkenzünder . . . . .	40
§ 16. Explosion und Detonation . . . . .	42
§ 17. Das Laden, Besetzen und Abfeuern der Bohrlöcher bei Anwendung von Pulver . . . . .	43
§ 18. Das Laden und Besetzen der Bohrlöcher bei Anwendung von Guhrdynamit, Sprengelatine und Gelatinedynamit . . . . .	45
§ 19. Vorsichtsmaßregeln bei der Ausführung der Sprengarbeit . . . . .	46

	Seite
c) Allgemeines über die Ausführung der Sprengarbeit.	
§ 20. Sprengwirkung im allgemeinen . . . . .	51
§ 21. Größe der Ladung . . . . .	55
§ 22. Tiefe und Weite der Bohrlöcher . . . . .	56
§ 23. Anordnung der Bohrlöcher . . . . .	57
§ 24. Kosten der Sprengarbeit beim Handbohren . . . . .	60
Litteratur: Sprengstoffe und Sprengtechnik betreffend . . . . .	64
<b>C. Das Maschinenbohren.</b>	
§ 25. Bedeutung des Maschinenbohrens . . . . .	66
§ 26. Die Grundzüge des Maschinenbohrens . . . . .	67
1. Die Stofsbohrmaschinen . . . . .	67
2. Die Drehbohrmaschinen . . . . .	67
3. Die Betriebskraft für Gesteinsbohrmaschinen . . . . .	67
§ 27. Allgemeines über Druckluftbohrmaschinen . . . . .	68
§ 28. Beschreibung einiger Druckluft-Stofsbohrmaschinen . . . . .	72
§ 29. Leistung und Kraftbedarf der Druckluft-Stofsbohrmaschinen . . . . .	76
§ 30. Die elektrischen Stofsbohrmaschinen . . . . .	80
§ 31. Die Bohrer der Stofsbohrmaschinen und ihre Befestigungsarten . . . . .	82
§ 32. Die Drehbohrmaschinen . . . . .	86
§ 33. Die Bohrgestelle . . . . .	91
§ 34. Die Druckluftpumpen (Kompressoren) . . . . .	95
§ 35. Die Rohrleitungen . . . . .	100
§ 36. Arbeitsbetrieb bei der Maschinenbohrung . . . . .	101
§ 37. Beispiele ausgeführter Bohrungen mit Stofsbohrmaschinen . . . . .	104
1. Richtstollen des Mont Cenis-Tunnels . . . . .	104
2. " " St. Gotthard-Tunnels . . . . .	105
3. " " Hoosac-Tunnels . . . . .	108
4. " " Musconetcong-Tunnels in New-Jersey . . . . .	109
5. " " Nesquehoning-Tunnels in Pennsylvanien . . . . .	110
6. " " Rott-Tunnels bei Barmen . . . . .	110
7. Sohlenstollen des Cochemer (Kaiser Wilhelm-) Tunnels . . . . .	111
8. " " 1040 m langen eingleisigen Tunnels bei Marienthal, Bahnlinie Altenkirchen-Au (Westerwald) im Selbstbetrieb der Bauverwaltung ausgeführt . . . . .	112
9. Querschläge und Förderstrecken auf dem Freiesleben-Schacht, Otto-Schacht und 81. Lichtloch der Mansfeld'schen Kupferschiefer bauenden Gewerkschaften . . . . .	116
10. Querschläge auf der Steinkohlengrube „Mansfeld“ bei Langendreer in Westfalen . . . . .	117
11. Querschlag auf der Steinkohlengrube „Baden“ bei Saarbrücken . . . . .	117
12. Querschlag auf der Steinkohlengrube „Deutschland“ bei Hasslinghausen in Westfalen . . . . .	118
13. Querschläge auf der Steinkohlengrube „Massen“ bei Unna in Westfalen . . . . .	118
14. Stollen auf den Eisensteingruben der Hernadthaler Ungarischen Eisenindustrie- Aktiengesellschaft bei Krompach in Ungarn . . . . .	119
15. Stollen auf der Eisensteingrube Rozstocken der Oberschlesischen Eisenbahn- Bedarfs-Aktiengesellschaft Bergverwaltung Markusfalva in Oberungarn . . . . .	119
§ 38. Beispiele ausgeführter Bohrungen mit Drehbohrmaschinen . . . . .	120
1. Stollen des Sonnstein-Tunnel der Salzkammergut-Bahn . . . . .	120
2. Querschlag auf der Zeche Rheinpreußen bei Homberg . . . . .	121
3. Richtstollen des Brandleite-Tunnels in der Linie Erfurt-Ritschenhausen . . . . .	121
4. Arlberg-Tunnel (10240 m lang) westl. Seite . . . . .	122
Litteratur: Maschinenbohren betreffend . . . . .	124
<b>II. Die Förderung.</b>	
<b>A. Stollenförderung.</b>	
§ 39. Allgemeines . . . . .	127
§ 40. Die Wagen . . . . .	128
§ 41. Die Förderbahnen (Fahrgestänge) . . . . .	129

	Seite
§ 42. Allgemeine Anordnung der Stollenförderung . . . . .	130
§ 43. Motoren und ihre Leistungen . . . . .	137
Litteratur: Stollenförderung betreffend . . . . .	141
<b>B. Schachtförderung.</b>	
§ 44. Fördermaschinen . . . . .	142
§ 45. Seile . . . . .	146
§ 46. Schachtfördergefäße . . . . .	147
§ 47. Schachtführungen . . . . .	147
§ 48. Fördergestelle . . . . .	148
§ 49. Fangvorrichtungen . . . . .	148
§ 50. Einrichtung der Hängebank . . . . .	149
§ 51. Signale . . . . .	150
§ 52. Schachtförderung bei geneigten (donlägigen) Schächten . . . . .	151
§ 53. Kosten der Schachtförderung . . . . .	151
Litteratur: Stollen- und Schachtförderung betreffend . . . . .	151
<b>III. Die Zimmerung.</b>	
§ 54. Material und Gezähe . . . . .	153
§ 55. Holzverbindungen . . . . .	154
1. Einfaches Aneinandersetzen . . . . .	154
2. Einsetzen . . . . .	154
3. Stumpfes Zusammenstoßen . . . . .	154
4. Das Einkehlen oder Zusammenscharen . . . . .	154
5. Das Zusammenblatten . . . . .	154
6. Das Zusammenzapfen . . . . .	154
§ 56. Eiserner Verbindungsteile . . . . .	155
1. Klammern oder Klammhaken . . . . .	155
2. Nägel . . . . .	155
3. Zugbänder und Ringe . . . . .	156
4. Laschen . . . . .	156
<b>A. Die Stollenzimmerung.</b>	
§ 57. Einfache Stollenzimmerung . . . . .	156
§ 58. Zusammengesetzte Zimmerung . . . . .	156
§ 59. Die Getriebezimmerung beim Stollenbau . . . . .	159
<b>B. Die Tunnelzimmerung.</b>	
§ 60. Das Eigenartige der Tunnelzimmerung . . . . .	161
§ 61. Die Sparrenzimmerung . . . . .	161
§ 62. Die Jochzimmerung . . . . .	162
<b>C. Die Schachtzimmerung.</b>	
§ 63. Gewöhnliche Schachtzimmerung . . . . .	164
§ 64. Die Getriebezimmerung beim Schachtbau . . . . .	165
§ 65. Wasserdichte Zimmerung (Cuvelage) . . . . .	166
§ 66. Der Schachtstuhl . . . . .	167
§ 67. Holzabmessungen . . . . .	169
Litteratur: Stollen- und Schachtzimmerung betreffend . . . . .	169

Zweiter Abschnitt.

**Die Ausführung des Tunnelbaues.**

*I. Die verschiedenen Tunnel-Bauweisen.*

**A. Die gewöhnlichen bergmännischen Tunnel-Bauweisen.**

§ 68. Vorbemerkung . . . . .	171
§ 69. Das Eigenartige der vier gewöhnlichen bergmännischen Tunnel-Bauweisen . . . . .	172
a) Die deutsche Tunnel-Bauweise.	
§ 70. Deutsche Tunnel-Bauweise . . . . .	175

	Seite
<b>b) Die belgische Tunnel-Bauweise</b>	
§ 71. Die belgische Tunnel-Bauweise mit Firststollenbetrieb	180
1. Roosebecker Tunnel	180
2. Tesch-Tunnel	181
3. Gotthard-Tunnel	182
4. Tunnel von St. Cloud	185
§ 72. Die belgische Tunnel-Bauweise mit Sohlenstollenbetrieb	185
1. Hönebach-Tunnel	185
2. Mont Cenis-Tunnel	186
3. Marienthaler Tunnel	187
4. Krähberg-Tunnel	189
§ 73. Die belgische Tunnel-Bauweise mit Anwendung der amerikanischen Zimmerungsart	190
Church-Hill-Tunnel	190
<b>c) Die österreichische Tunnel-Bauweise</b>	
§ 74. Die österreichische Zimmerungsart	193
1. Homberger Tunnel	194
2. Czernitzer Tunnel	196
3. Mühlhausener Tunnel	197
4. Kaiser Wilhelm-Tunnel bei Cochem	197
§ 75. Die Centralstrebenzimmerung	198
1. Schwelmer Tunnel	198
2. Hagenacker Tunnel	199
3. Christina-Tunnel	199
§ 76. Die Eisenrüstung nach Rziha	200
1. Naenser Tunnel	201
2. Ippenser Tunnel	202
<b>d) Die englische Tunnel-Bauweise.</b>	
§ 77. Die englische Zimmerungsart	203
a) Vorgang bei Ausführung der Mauerung	204
b) Vorgang beim Abbau einer Zonenlänge	205
1. Abbau und Auszimmerung in druckhaftem Gebirge	205
2. Anwendung eiserner vorschiebbarer Pfähle	206
3. Abbau und Auszimmerung in festem Gebirge	207
c) Der Bau von Aufbrüchen	208
§ 78. Das Tunnel-Längsträgersystem Bauart Menne	209
Ender Tunnel	210
§ 79. Beurteilung der verschiedenen bergmännischen Bauweisen und Zimmerungsarten	211
<b>I. Tunnel-Bauweisen.</b>	
a) Die Sicherheit der Ausführung und des fertigen Tunnels	212
b) Dauer der Ausführung	214
c) Kosten	214
<b>II. Beurteilung der Zimmerungsarten.</b>	
a) In Bezug auf Sicherheit	215
b) In Bezug auf die Kosten	215
c) Die Abstützung der Haupthölzer betreffend	216
α. Die Bockgespärre der belgischen Bauweise	216
β. Die Bockgespärre der österreichischen Zimmerung	216
γ. Die Bockgespärre der Centralstrebenzimmerung	217
δ. Die Abstützung der Haupthölzer bei der Bauart Menne	217
ε. Die Abstützung der Haupthölzer bei der englischen Zimmerung	218
η. Die Rziha'sche Eisenrüstung	218
<b>III. Gesamtergebnis</b>	
§ 80. Ausführung von Tunnelbauten unter Wasser bei Anwendung der gewöhnlichen bergmännischen Bauweisen	220

	Seite
1. Der Mersey-Tunnel . . . . .	220
2. Der Severn-Tunnel . . . . .	221
Litteratur, Tunnel-Bauweisen betreffend . . . . .	224
<b>B. Tunnelbauten mit Verwendung besonderer Hilfsmittel.</b>	
§ 81. Vorbemerkung . . . . .	225
§ 82. Grundzüge für die Schildbauweise . . . . .	228
1. Der Schild . . . . .	228
2. Die Tunnelauskleidung . . . . .	231
3. Das Lösen und die Förderung vor Ort . . . . .	233
4. Anwendung von Druckluft zur Wasserabhaltung . . . . .	234
§ 83. Beispiele für die Schildbauweise . . . . .	235
1. Brunel's Themse-Tunnel . . . . .	235
2. Der 2. Barlow'sche Themse-Tunnel . . . . .	237
3. Der Einbau des Wasserleitungsrohres unter dem Wien-Neustädter Schiffahrtskanal . . . . .	238
4. Tunnel unter dem Broadway in New-York . . . . .	238
5. Der Tunnel der City- und Süd-London-Bahn . . . . .	239
6. Der Hudson-Tunnel . . . . .	241
a) Erster Bauabschnitt . . . . .	242
α. Seite von Jersey . . . . .	242
β. Seite von New-York . . . . .	243
b) Zweiter Bauabschnitt . . . . .	244
α. Der Schildvortrieb am Hudson-Tunnel . . . . .	245
β. Das Einbauen der Tunnelauskleidung . . . . .	246
γ. Die Richtung der Flanschen . . . . .	246
δ. Das Versetzen der Platten . . . . .	247
7. Der St. Clair-Tunnel . . . . .	247
8. Der Mersey-Tunnel der Liverpooler Vyrnwy-Wasserversorgung . . . . .	250
9. Der Blackwall-Tunnel . . . . .	253
10. Der Spree-Tunnel bei Berlin . . . . .	258
11. Die Central-London-Untergrundbahn . . . . .	262
12. Der Sammelkanal von Clichy intra muros . . . . .	263
§ 84. Anwendung von Teilschilden . . . . .	265
Der Hauptsammelkanal von Clichy extra muros . . . . .	265
§ 85. Tunnelausführungen in offenen Einschnitten mit Hilfe von Abschlußwänden . . . . .	269
§ 86. Ausführung mittels Senkkästen unter Anwendung von Prefsluft . . . . .	270
Litteratur: Tunnelbauten mit besonderen Hilfsmitteln betreffend . . . . .	272
<b>II. Die Tunnelmauerung . . . . .</b>	
§ 87. Die Mauermaterialien . . . . .	277
§ 88. Die Lehrgerüste . . . . .	278
1. Die Profilehren . . . . .	278
2. Die Lehrbögen . . . . .	278
a) Lehrbögen mit Sprengwerksgerüst . . . . .	278
b) Die Bohlenbögen . . . . .	279
c) Die eisernen Lehrbögen . . . . .	279
3. Bewegliche Lehrgerüste . . . . .	280
4. Die Aufstellung der Lehrbögen . . . . .	280
5. Die Verschalung der Lehrbögen . . . . .	280
6. Die Ausrüstung der Lehrbögen . . . . .	281
§ 89. Die Ausführung der Mauerung . . . . .	282
1. Die Beförderung der Mauermaterialien . . . . .	282
2. Die Grundmauern . . . . .	283
3. Die Widerlager . . . . .	283
4. Das Hauptgewölbe . . . . .	283
5. Das Sohlengewölbe . . . . .	284

	Seite
6. Die Hintermauerung . . . . .	285
7. Die Rüstungen für die Maurer . . . . .	285
8. Die Arbeiten des Zimmerhüters während der Mauerung . . . . .	285
9. Das Auffirsten . . . . .	286
§ 90. Die Entwässerung des Tunnelmauerwerks und der Tunnelkanal . . . . .	286
§ 91. Tunnelnischen . . . . .	289
§ 92. Tunnelthore (Tunnelportale) . . . . .	289
Litteratur: Tunnelmauerung betreffend . . . . .	290
<i>III. Allgemeines über die Ausführung des Tunnelbaues.</i>	
§ 93. Abstecken der Tunnellinie, Festlegung der Tunnelaxe über Tage . . . . .	291
1. Absteckung des Gotthard-Tunnels . . . . .	291
2. „ „ Simplon-Tunnels . . . . .	292
§ 94. Bestimmung der Richtung und Höhe im Tunnel . . . . .	293
1. Signale und Instrumente . . . . .	293
2. Ausführung der Absteckungsarbeiten im Tunnel . . . . .	294
3. Absteckung der Tunnelaxe in Schächten . . . . .	296
Litteratur: Absteckungsarbeiten betreffend . . . . .	298
§ 95. Erweiterung und Überhöhung des Tunnelausbruchprofils . . . . .	298
§ 96. Anordnung des Tunnelrichtstollens . . . . .	299
<i>IV. Tunnelbrüche.</i>	
<b>A. Tunnelbrüche und ihre Ursachen.</b>	
§ 97. Die verschiedenen Arten der Tunnelbrüche . . . . .	300
§ 98. Ursachen der Tunnelbrüche . . . . .	301
<b>B. Wiederherstellung der durch Tunnelbruch zerstörten Tunnelstrecken.</b>	
§ 99. Vorbereitende Arbeiten . . . . .	304
§ 100. Wiederherstellungsarbeiten bei First- und Tagebrüchen . . . . .	306
1. Firstbruch im Schwelmer Tunnel . . . . .	307
2. Tagebruch beim Bau des Dettenberg-Tunnels . . . . .	309
§ 101. Wiederherstellungsarbeiten bei Firstbrüchen, bei denen die Bruchmassen nur einen Teil des Querschnittes einnehmen . . . . .	312
Firstbruch im Welschenennester Tunnel . . . . .	313
§ 102. Wiederherstellungsarbeiten bei Mundlochbrüchen . . . . .	318
§ 103. Wiederherstellung der gebrochenen oder zerstörten Mauerung . . . . .	320
1. Bruch der Mauerung im Czernitzer Tunnel . . . . .	321
2. Erneuerung der Mauerung in der nördlichen Druckstrecke des St. Gotthard-Tunnels . . . . .	324
3. Erneuerung der Tunnelmauerung während des Eisenbahnbetriebes . . . . .	326
4. Wiederherstellung der Mauerung im Tunnel bei Vierzy . . . . .	326
Litteratur: Tunnelbrüche betreffend . . . . .	328
Dritter Abschnitt.	
<b>Hilfsanlagen und Vorarbeiten für die Ausführung von Tunnelbauten.</b>	
<i>I. Lüftung.</i>	
§ 104. Bedürfnis der Lüftung . . . . .	330
§ 105. Die Mittel zur Lüftung . . . . .	332
1. Natürliche Lüftung . . . . .	332
2. Künstliche Lüftung . . . . .	334
a) Durch Aussaugen der Luft . . . . .	334
α. Durch einfache Erwärmung . . . . .	334
β. Durch ein Dampfstrahl-Blasrohr . . . . .	335
b) Durch Einpressen der Luft . . . . .	336
§ 106. Die Luftleitungen . . . . .	339
§ 107. Lüftung im Betrieb befindlicher Tunnel . . . . .	339
1. Allgemeines . . . . .	339
2. Art der Verunreinigung der Luft in einem im Betriebe befindlichen Tunnel . . . . .	341
3. Einfluss der Verbrennungsgase auf den Menschen . . . . .	341

	Seite
a) Kohlensäure . . . . .	341
b) Kohlenoxyd . . . . .	341
c) Schweflige Säure . . . . .	342
d) Sauerstoff . . . . .	342
e) Verhältnis der giftigen Gase zur Kohlensäure . . . . .	342
f) Einfluss der verdorbenen Luft auf die Sinne . . . . .	342
g) Zulässige Beimischung der verschiedenen Gase . . . . .	343
4. Beispiele verschiedener Lüftungsarten . . . . .	343
a) Natürliche Lüftung durch Öffnungen im Gewölbescheitel . . . . .	343
b) Anwendung von Maschinen . . . . .	344
α. Absaugen der Luft im Mersey-Tunnel . . . . .	344
β. Absaugen der Luft im Severn-Tunnel . . . . .	344
γ. Einpressen der Luft in den Tunnel . . . . .	345
δ. Saccardo's Verfahren . . . . .	345
ε. Anwendung des Saccardo'schen Verfahrens auf den Gotthard-Tunnel . . . . .	346

*II. Wasserhaltung.*

§ 108. Mittel zum Fernhalten des Wassers vom Tunnel . . . . .	349
§ 109. Wasserführung und Wasserhebung . . . . .	350

*III. Beleuchtung.*

§ 110. Beleuchtung in Arbeit befindlicher Tunnelstrecken . . . . .	354
Litteratur: Lüftung, Wasserhaltung und Beleuchtung betreffend . . . . .	356

*IV. Bearbeitung des Bauplanes.*

§ 111. Allgemeine Vorarbeiten . . . . .	358
§ 112. Feststellung der Tunnellänge . . . . .	361
§ 113. Das Tunnelquerprofil . . . . .	363
§ 114. Bestimmung der Bauangriffspunkte . . . . .	369
1. Angriff von freien Mundlöchern aus . . . . .	369
2. Bauangriff mittels Einschnittstollens und Mundschächten . . . . .	369
3. Bauangriff mit Hilfe von Tunnelschächten . . . . .	371
4. Bauangriff mit Hilfe von Seitenstollen . . . . .	372
5. Beschleunigter Baubetrieb mittels Aufbrüchen vom Seitenstollen aus . . . . .	372
§ 115. Anordnung von Schachtanlagen . . . . .	373
§ 116. Der Arbeitsplan . . . . .	381
1. Beispiel des Arbeitsplanes für den Bau des eingleis. Tunnels bei Marienthal (Westerw.) . . . . .	381
2. Tunnelwerkplatz des Milseburg-Tunnels . . . . .	387
§ 117. Ermittlung der Baukosten . . . . .	388

**Tabellen.**

Tabellé I. Sprengkraft verschiedener Nitroglycerin-Erzeugnisse . . . . .	36
" II. Gewichtsverhältnisse von Pulver, Dynamit u. s. w. . . . .	56
" III. Weite der Bohrlöcher für verschiedene Tiefen derselben . . . . .	57
" IV. Ergebnisse der Sprengarbeiten beim Bau des Spitzberg-Tunnels . . . . .	61
" V. Bedarf an Arbeitskräften und Material zur Gewinnung von 1 cbm Gestein im Marienthaler Tunnel . . . . .	62
" VI. Durchschnittliche Kosten für das Lösen von 1 cbm Gestein im ganzen Profil eines zweigleisigen Eisenbahn-Tunnels bei Anwendung von Pulver . . . . .	62
" VII. Ausführlich aufgeführte Kosten der Sprengarbeiten in den Versuchsstollen für den Kehrtunnel bei Wattingen und am Leggistein . . . . .	63
" VIII. Leistung eines Bohrhäuers und Verbrauch an Sprengmaterial . . . . .	64
" IX. Abmessungen und Gewichte verschiedener Stofsbohrmaschinen . . . . .	77
" X. Leistungen der Maschinen von Ferroux und Mac-Kean . . . . .	79
" XI. Hauptverhältnisse der Druckluftpumpen von Humboldt, Dubois-François und Sturgeon . . . . .	99
" XII. Anzahl und Tiefe der Bohrlöcher für einen Stollenfortschritt von etwa 3 m . . . . .	110

Tabelle XIII. Durchschnittskosten und Leistungen beim Marienthaler Tunnel in der Zeit vom 11. Januar bis 1. Mai 1886 für 1 m Stollen bei einem mittleren Querschnitt von 7,59 m . . . . .	114
„ XIV. Durchschnittsleistung bei der Ausführung des Sohlenstollens im Arlberg-Tunnel . . . . .	123
„ XV. Vergleich des Arbeitsfortschrittes beim Gotthard- und Arlberg-Tunnel . . . . .	124
„ XVI. Kosten der Schachtförderung beim Tunnelbau . . . . .	151
„ XVII. Holzabmessungen der Stollen- und Schachtzimmerungen . . . . .	168
„ XVIII. Abmessungen verschiedener Tunnelschilde . . . . .	230
„ XIX. Abmessungen und Gewichte von Tunnelverkleidungen . . . . .	232
„ XX. Mit Schilden durchfahrene Strecken, Vortriebsgeschwindigkeiten und Kosten . . . . .	235
„ XXI. Größte Gesteinswärme in verschiedenen Tunneln . . . . .	331
„ XXII. Gebirgsdrücke in Tonnen auf das Quadratmeter ausminierter Fläche . . . . .	365
„ XXIII. Zusammenstellung der bei verschiedenen Stollenbauten an einer Angriffsstelle durchschnittlich im Monat erzielten Fortschritte . . . . .	374
„ XXIV. Zusammenstellung der bei verschiedenen Schachtanlagen durchschnittlich im Monat erzielten Baufortschritte . . . . .	376
„ XXV. Zusammenstellung der bei Tunnelbauten an einem Angriffspunkt durchschnittlich im Monat erzielten Fortschritte beim Vollausbuch . . . . .	378
„ XXVI. Baufortschritte im Monat, die bei Bauentwürfen zu Grunde gelegt werden können . . . . .	380
„ XXVII. Voranschlag der Baukosten einzelner Tunnel der Gotthard-Bahn . . . . .	390
„ XXVIII. Zusammenstellung der Ausbruchs- und Mauer Massen der Tunnel im Pegnitzthale . . . . .	392
„ XXIX. Preiszusammenstellung der Tunnelbauten im Pegnitzthale . . . . .	392
„ XXX. Zusammenstellung der Gesamtkosten zweigleisiger Tunnel . . . . .	394
a) Zweigleisige Tunnel in Deutschland . . . . .	394
b) „ „ „ der Schweiz . . . . .	396
c) „ „ „ Österreich . . . . .	398
„ XXXI. Zusammenstellung der Gesamtkosten eingeleisiger Tunnel . . . . .	400
a) Eingleisige Tunnel in Deutschland . . . . .	400
b) „ „ „ der Schweiz . . . . .	400
c) „ „ „ Österreich . . . . .	400

### Litteratur.

1. Hilfswissenschaften (Geologie und Bergbaukunde) . . . . .	402
2. Tunnelbau im allgemeinen. Geschichte des Tunnelbaues . . . . .	402
a) Selbständige Schriften . . . . .	402
b) In Zeitschriften . . . . .	403
3. Städtische Untergrundbahnen . . . . .	403
4. Stollen, Wasserleitungstunnel und kleinere Tunnel für verschiedene Zwecke . . . . .	405
5. Mont Cenis-Tunnel . . . . .	407
6. Gotthard-Tunnel . . . . .	407
a) Selbständige Schriften . . . . .	407
b) In Zeitschriften . . . . .	407
7. Arlberg-Tunnel . . . . .	408
a) Selbständige Schriften . . . . .	408
b) In Zeitschriften . . . . .	409
8. Simplon-Tunnel . . . . .	409
9. Verschiedene Tunnel . . . . .	410
a) Selbständige Schriften . . . . .	410
b) In Zeitschriften . . . . .	410
Sachregister . . . . .	418
Berichtigungen . . . . .	425

## IX. Kapitel.

# T u n n e l b a u.

Bearbeitet von

**E. Mackensen,**

Geh. Baurat in Berlin.\*)

(Hierzu XI Tafeln.)

**Einleitung.** Unter einem Tunnel versteht man im allgemeinen ein Bauwerk, das zur unterirdischen Führung eines Verkehrsweges dient. Dieser kann sowohl eine Eisenbahn, als auch eine Land- oder Wasserstraße sein, jedoch sind auch zahlreiche Tunnel für Be- und Entwässerungszwecke ausgeführt worden.<sup>1)</sup>

Die Anlagen dieser Art unterscheiden sich von den sonst in mancher Beziehung mit ihnen verwandten unterirdischen Gängen und Stollen der Bergwerke sowohl durch ihre größeren Abmessungen, als namentlich dadurch, daß es sich bei den Bergwerken nur um Herstellung einer Verbindung der Erdoberfläche mit unterirdischen Arbeitsstellen handelt, und daß die unterirdischen Gänge und Räume daher hier in der Regel nur an dem einen Ende zu Tage treten, während der Tunnel die Unterfahrung eines Gebirgsteiles bezweckt und demgemäß an beiden Enden zu Tage tritt.

Die Vorläufer des heutigen Tunnelbaues reichen weit zurück in die Vorzeit. Schon die Babylonier und Assyrer sollen für Zwecke der Entwässerung und des Verkehrs derartige Anlagen hergestellt haben, wie z. B. den Entwässerungskanal zu Nimrud und den dem Nebukadnezar zugeschriebenen gewölbten Tunnel zur Verbindung seines Palastes mit dem Tempel des Sonnengottes, der sogar unter dem Bette des Euphrat hindurchgeführt war.

Die um das Jahr 1000 v. Chr. erbaute Wasserleitung der Stadt Jerusalem aus den Quellen des Wadi Bijar und Wadi Arrub besitzt mehrere, zum Teil ausgemauerte Tunnel, von denen einer die ansehnliche Länge von 537 m hat. Auch den Griechen war der Tunnelbau für gleiche Zwecke nicht fremd. So erbaute Eupalinos für das Wasserwerk von Samos einen 1000 m langen Tunnel.

Von den vielen Tunnelanlagen der Römer nennen wir u. a. den jetzt trockenen, jedoch noch heute gangbaren Kanal zur Speisung der Stadt Cumae aus dem avernischen See; die 5 km lange unterirdische Ableitung aus dem See Fucino, die neuerdings durch

\*) In der 1. und 2. Auflage wurde dieses Kapitel von Herrn Geh. Baurat E. Mackensen in Gemeinschaft mit Herrn Geh. Baurat R. Richard in Magdeburg bearbeitet.

<sup>1)</sup> Das Wort „Tunnel“ stammt aus der englischen Sprache und bedeutet ursprünglich „Röhre“.

eine solche von mehr als 6 km Länge ersetzt ist; ferner die von Vespasian erbauten Wegetunnel in den Apenninen und die Tunnelstrecken der grofsartigen Wasserleitungen bei Rom, Lyon und Nimes.

Als ein hervorragendes Beispiel eines noch heute dem öffentlichen Verkehre dienenden antiken Tunnels verdient die sogenannte „Grotte des Posilipp“ bei Neapel genannt zu werden. Diese verbindet die Stadt mit einem volkreichen Vororte (Fuori-Grotta), unterfährt zu dem Zwecke den weit ins Meer vorspringenden hohen Bergücken des Posilipp in einer Länge von etwa 1 km und zeigt in ihrer jetzigen Gestalt in der Mitte eine Höhe von 7 m, an den Mundlöchern von 25 m, um das Tageslicht weit eindringen zu lassen. Die Breite beträgt fast 7 m; einige seitwärts liegende schräge Schächte bewirken genügende Luftzuführung. Der Tunnel ist ohne Ausmauerung mit senkrechten Seitenwänden aus dem Tuffsteinfelsen gearbeitet. — Über dem stadtseitigen Mundloche dieser Strasse hoch oben befindet sich das angebliche Grab des Virgil. Die erste Anlage soll aus Augustus Zeiten herkommen, kann jedoch auch viel älter sein. Eine Vertiefung der anfangs weit höher gelegenen Sohle erfolgte im Mittelalter.

Mit dem Untergange des römischen Reiches trat auf lange Zeit für alle gröfseren Unternehmungen auf dem Gebiete der Technik, so auch im Tunnelbau ein langdauernder Stillstand ein; während des ganzen Mittelalters sehen wir ihn fast ausschliesslich auf die Anlage unterirdischer Gänge bei den Klöstern und Kirchen beschränkt. Als einziges gröfseres Werk aus dem späteren Mittelalter ist der zur Verbindung von Nizza und Genua unter Anna von Lusignan 1450 begonnene, aber unvollendet gebliebene Tunnel durch den Col di Tenda hervorzuheben, dessen Bau zwar zu Ende des 18. Jahrhunderts nochmals in Angriff genommen, aber sehr bald durch den Einfall der Franzosen in Italien wieder unterbrochen und dann aufgegeben wurde.

Erst gegen das Ende des 17. Jahrhunderts erwachte der Schaffungsgeist der Völker auf diesem Gebiete zu neuem Leben; es begann ein neues Zeitalter des Tunnelbaues, wesentlich gefördert durch den Umstand, dafs man inzwischen das Schiefspulver den Zwecken des Bergbaues dienstbar zu machen gelernt hatte.

An die Stelle der äufserst mühsamen „Schlägel- und Eisenarbeit“, mit der man bis dahin durch Abmeifseln des Gesteins neben dem üblichen „Feuersetzen“ (d. h. Absprengen mit Hilfe künstlicher Erwärmung) nur bei dem gröfsten Aufwand von Zeit und Ausdauer in den festen Felsen einzudringen vermochte, trat nunmehr die Sprengarbeit. Diese bezeichnet für den Abbau der festeren Gebirgsarten einen ungemein wichtigen Fortschritt, ohne den der Tunnelbau niemals zu der heutigen grofsartigen Ausdehnung gelangt sein würde.

Der erste gröfsere Tunnel aus dieser Zeit ist der sogenannte Malpas-Tunnel, der vom französischen Ingenieur Riquet in den Jahren 1679 bis 1681 für den Kanal von Languedoc in Tuffstein zunächst ohne Mauerung ausgeführt wurde. Er hatte eine Länge von rund 157 m, eine Breite von 6,9 m und eine Höhe von rund 8,4 m; die Auswölbung erfolgte erst 7 Jahre später. Diesem folgte 1707 die Gallerie im Zuge des Saumpfadcs über den St. Gotthard, im Volksmunde das „Uerner Loch“ genannt, ferner in Frankreich der Tunnel von Rive de Gier (1770) im Givors-Kanale, sowie jener von Torcy (1787) im Centre-Kanale.

Ein grofser Schritt mußte indessen noch vorwärts gethan werden bis zu unserem heutigen Tunnelbau. Bis dahin waren sämtliche Tunnel von gröfseren Querschnittsabmessungen durch festen, standhaften Felsen gehauen, der einer Unterstützung während des Baues nicht bedurfte. Die Herstellungsarbeiten dieser Tunnel beschränkten sich

daher lediglich auf das Lösen und Fördern des Gesteins, eine Arbeit, die bei den damals noch nicht vorhandenen Hilfsmitteln der Jetztzeit allerdings bewunderungswerte Ausdauer erforderte, sonst aber keinerlei Schwierigkeiten verursachte. Die wenigen Tunnel, die in jener Zeit durch weichere, abzustützens Gebirgsarten geführt wurden, erhielten so geringe Querschnittsabmessungen, dafs sie den gewöhnlichen bergmännischen Stollen, die so alt sind als der Bergbau selbst, gleichkamen, und dafs die einfachen Mittel des Bergbaues für ihre Herstellung somit auch ausreichten.

Erst zu Anfang des verfloffenen Jahrhunderts (1803) wagte man in Frankreich, einen Tunnel von 8 m Breite durch sandiges, also druckreiches Gebirge zu treiben und zwar zur Durchführung des Kanales von St. Quentin bei dem Orte Tronquoi (Galerie de Tronquoi). In diesem Tunnel ist der Anfang unseres heutigen Tunnelbaues zu erblicken. Es folgten ihm bald andere nach. Neben den Tunnelbauten in festem Gebirge für die grofsen Alpenstrafsen über den Simplon, den Mont-Cenis, den Splügen, den Bernhardin, das Stifiser Joch, den St. Gotthard<sup>2)</sup>, der vorwiegend zum Schutze gegen Lawinen, sämtlich in den Jahren von 1803 bis 1830 entstanden, wurden in Frankreich und namentlich auch in England um dieselbe Zeit in weicheren Gebirgsarten eine gröfsere Zahl bemerkenswerter und bedeutsamer Tunnelbauten ausgeführt, meistens zur Durchleitung von Kanälen.

Ohne diese hier im einzelnen aufzuführen, sei nur noch der Strafsentunnel unter der Themse in London hervorgehoben, weil die Ausführung desselben wegen der glücklichen Besiegung der aufsergewöhnlichen, bis dahin ungekannten Schwierigkeiten als ein glänzendes und ermutigendes Beispiel menschlicher Ausdauer und Leistungsfähigkeit hervorleuchtet, und dem Erbauer, Isambert Brunel (geb. 1769 in der Normandie), einen Namen ersten Ranges unter den grofsen Männern seines Faches für alle Zeiten sichert. Elfmal brach die Themse in den begonnenen Bau ein; aber unermüdlich ging der berühmte Ingenieur stets aufs Neue ans Werk und vollendete dasselbe nach mehr als 16jähriger anstrengender Arbeit (16. Februar 1825 bis 13. August 1841).

In diese Zeit fällt zugleich der Beginn des Eisenbahnbaues, der bald Tunnel unter allen geologischen Verhältnissen notwendig machte, und mit dessen rascher Ausdehnung die Zahl der Tunnel nunmehr derartig zunahm, dafs sie bald nicht mehr, wie bis dahin, als halbe Wunderwerke galten, sondern zu den häufig vorkommenden technischen Aufgaben zählten.

Die ersten Eisenbahntunnel sind die beiden auf der Linie Liverpool-Manchester in der Nähe von Liverpool durch Stephenson in den Jahren 1826 bis 1830 erbauten. In Deutschland wurden die ersten Tunnel für die Eisenbahnen von Köln nach Aachen bei Königsdorf und von Leipzig nach Dresden bei Oberau, beide in dem Jahre 1837 begonnen. Der erste österreichische Eisenbahntunnel ist der von Gumpoldskirchen (1839) im Zuge der Wien-Triester Bahn.<sup>3)</sup>

Die Aufgaben, die durch die gewaltige Entwicklung der Eisenbahnen in allen Kulturländern an die Tunnel-Ingenieure herantraten, zwangen zur raschen Weiterentwicklung der Tunnelbaukunst, die namentlich auch auf die Beschleunigung der Bau-

<sup>2)</sup> Nicht zu verwechseln mit dem weiter oben erwähnten älteren Saumpfade, der für Fuhrwerk nicht benutzbar war.

<sup>3)</sup> Über die Geschichte des Tunnelbaues, aus der hier nur einzelne epochemachende Momente herausgegriffen worden sind, findet sich Ausführliches in: Eisenbahn-Unter- und Oberbau (Sonder-Ausgabe des Wiener Weltausstellungsberichtes, Gruppe XVIII, Sektion 2) von Franz Rziha. 1. Bd. Wien 1876. — Ferner in: „Practical tunneling“ by Fr. Walter Simms. London 1877, und in: „Tunneling explosive compounds“ by Henry S. Drinker. New-York 1878.

Ausführungen gerichtet sein mußte. Den großen, Völker verbindenden Eisenbahnlinien durften Gebirge, die selbst Tunnel von ungeheurer Länge notwendig machten, keine unüberwindlichen Hindernisse bleiben und in der That haben die Tunnel-Ingenieure außerordentliche Leistungen aus der neueren Zeit aufzuweisen. Wir wollen hier nur die bestehenden und im Bau begriffenen, mehr als 5000 m langen Tunnel anführen.

	Länge	begonnen im Jahre	vollendet im Jahre
Simplon-Tunnel (Schweiz)	19 800 m	1899	—
St. Gotthard-Tunnel	14 900 m	1872	1880
Chemin de fer métropolitain de Paris	14 000 m	1898	1900
Mont-Cenis-Tunnel	12 200 m	1857	1870
Glasgower Distriktbahn	10 500 m	1892	1896
Arlberg-Tunnel	10 300 m	1880	1884
Central-London-Bahn	9 300 m	1897	1900
Haupttunnel der Giovi-Bahn (Italien)	8 300 m	1883	1888
Tunnel von Ronco (Italien)	8 260 m	—	—
Tunnel durch den Col di Tenda (Italien)	8 100 m	1890	1898
Galleria del Borgallo, durch die Apenninen, im Zuge der Bahn von Parma nach Spezia	8 000 m	—	—
Hoosac-Tunnel in Massachusetts (U. S.)	7 600 m	1854	1876
Tunnel unter dem Severn-Flusse (England)	7 300 m	1873	1886
Tunnel von Marianopoli, Bahn Catania-Palermo (Italien)	6 500 m	1879	1884
Turchino-Tunnel auf der Bahnlinie Genua-Ovada-Asti	6 447 m	1889	1894
Sutro-Tunnel in Nevada (U. S.)	6 000 m	1869	1873
Albula-Tunnel (Schweiz, schmalspurige Bahn)	5 900 m	1899	—
Tinley-Tunnel (England, Midlandbahn)	5 500 m	—	—
City and South London (zwei einspurige Röhrentunnel)	5 100 m	1886	1890
Tunnel bei Slandridge (London-Birmingham-Bahn)	5 000 m	1856	1860

Auch der 4200 m lange, in den Jahren 1874 bis 1877 erbaute Kaiser Wilhelm-Tunnel bei Cochem (Moselbahn) darf als der längste in Deutschland ausgeführte Tunnel nicht unerwähnt bleiben.

Diese Riesenbauten konnten in der kurzen Zeit nur mit Hilfe von kräftig wirkenden Maschinen hergestellt werden, die beim Sprengen des Gesteins an Stelle der schwachen Menschenkraft treten, und es bezeichnet die Einführung der Bohrmaschinen in den Tunnelbau, die nahezu mit der des Dynamits an Stelle des Sprengpulvers zusammenfällt, den Beginn eines neuen und wichtigen Zeitabschnittes in der Tunnelbaukunst. Ein weiterer sehr bedeutender Fortschritt hat sich in den letzten Jahren entwickelt infolge der in großer Zahl nötig gewordenen Ausführungen von Tunnelanlagen in mildem, selbst schwimmendem Gebirge unter Wasser. Die hierbei zu überwindenden Schwierigkeiten führten naturgemäß zu neuen eigenartigen Hilfsmitteln und Bauweisen. —

Aus den vorstehenden geschichtlichen Angaben geht hervor, daß, so alt der Tunnelbau im allgemeinen auch ist, seine Entwicklung zu der heutigen Höhe doch noch verhältnismäßig jung erscheint. Noch mehr gilt dies von der litterarischen und wissenschaftlichen Behandlung desselben.

Bis vor 35 Jahren bestand die ganze Litteratur über Tunnelbau aus wenigen Aufsätzen über einzelne Tunnelausführungen. Die Folge davon war, daß bis dahin

die Kenntnis des Tunnelbaues als eine besondere Kunst sich in den Händen einer kleinen Zahl bergbaukundiger Ingenieure befand, die sich darauf beschränkten, die einmal erlernte Bauweise weiter zur Anwendung zu bringen.

Das Verdienst, zuerst die Tunnelbaukunst zum Allgemeingut gemacht zu haben, gebührt vorwiegend österreichischen Ingenieuren, und es ist hier vor allen Franz von Rziha als der eigentliche Begründer der Tunnelbau-Wissenschaft zu nennen, der früher schon durch eine Reihe von Aufsätzen in verschiedenen technischen Zeitschriften seine reichen Erfahrungen im Tunnelbau zur allgemeinen Kenntnis brachte. Er schuf in seinem in den Jahren 1863 bis 1871 erschienenen „Lehrbuch über die gesamte Tunnelbaukunst“ ein sehr ausgedehntes klassisches Werk, das zuerst diesen umfangreichen Zweig der Bautechnik nebst allen dabei vorkommenden Arbeiten und Hilfsmitteln in systematischer Weise zur Darstellung gebracht und dadurch eine wirkliche „Wissenschaft des Tunnelbaues“ geschaffen hat.

Man kann sagen, daß erst seit dem Erscheinen dieses Werkes die Kenntnis des Tunnelbaues in weitere Kreise drang, und daß er in eine gleiche Stufe mit den übrigen Zweigen der wissenschaftlich ausgebildeten Bautechnik getreten ist.

Neben dem grundlegenden Werke dieses Altmeisters der Tunnelbaukunst sind in der bezüglichen Litteratur noch besonders hervorzuheben: das Werk des österreichischen Ingenieurs Alfred Lorenz über Tunnelbau (1860), in dem zum erstenmale eine übersichtliche Darstellung dieses Gegenstandes gegeben wurde, ferner die Vorträge von Joh. Georg Schoen, Professor an der technischen Hochschule zu Brünn (1866 und 1874), sowie das Werk der württembergischen Ingenieure Pressel und Kauffmann über den von ihnen in der Schweiz ausgeführten Hauenstein-Tunnel (1860).

Die ausländische Litteratur über Tunnelbau beschränkte sich bis vor kurzem außer mehreren einzelnen Aufsätzen und Einzelschriften (unter denen die italienische Schrift: *Traversaba del Appennino nella linea Foggia-Napoli*, Rom 1875, wegen ihrer ausführlichen Beschreibung der dort vorgekommenen großen Schwierigkeiten und Tunnelbrüche als sehr lehrreich empfohlen werden kann) auf das lediglich die in England übliche Bauweise behandelnde Buch von dem englischen Ingenieur Fr. W. Simms. Erst Mitte der achtziger Jahre wurde die ausländische Tunnel-Litteratur durch ein umfangreiches Werk von dem amerikanischen Ingenieur Henry S. Drinker vermehrt, das in umfassender Weise den gesamten Tunnelbau mit seinen neueren Hilfsmitteln behandelt. In den letzten Jahren sind noch zwei französische Werke über Tunnelbauten mit Anwendung von Tunnelschilden erschienen und zwar von Raynald Legouëz 1897 und von René Philippe 1900.

In dem vorliegenden Kapitel des Handbuchs der Ingenieur-Wissenschaften haben wir uns bemüht, mit Benutzung der genannten größeren Werke, ferner der teilweise als Manuskript gedruckten, an der technischen Hochschule zu Wien gehaltenen Vorträge Professor Winkler's über Tunnelbau und der uns freundlichst zugänglich gemachten Vorträge des Geheimen Regierungsrats Dolezalek, Professor an der technischen Hochschule zu Hannover, sowie der übrigen im Litteratur-Verzeichnisse angeführten Werke und Aufsätze, endlich auch auf Grund eigener Erfahrungen ein möglichst übersichtliches Bild des gesamten Tunnelbaues in seiner jetzigen Ausbildung zu geben, soweit der uns zugewiesene enge Rahmen dazu hinreichte.

Da bei dem dem Bergbaue so nahe verwandten Tunnelbau die bergmännischen Arbeiten ausgedehnte Anwendung finden, so ist deren eingehende Erörterung für die Darstellung unseres Gegenstandes unentbehrlich. Es ist deshalb der erste Abschnitt der vorliegenden Schrift der Beschreibung der allgemeinen bergmännischen Arbeiten gewidmet.

Im zweiten Abschnitte ist die Ausführung des Tunnelbaues behandelt und zwar: die verschiedenen Bauweisen, die Tunnelmauerung, Tunnelbrüche u. s. w., während im dritten Abschnitte die Vorarbeiten und Hilfsanlagen für Tunnel-Ausführungen: Aufstellung des Bauentwurfes, Wasserhaltung, Lüftung und Beleuchtung, sowie die Unterhaltung und Lüftung fertiger Tunnel besprochen sind.

An geeigneten Stellen des Textes und am Schlusse des Kapitels ist die Litteratur des Tunnelbaues möglichst vollständig zusammengestellt, um für etwaige eingehendere Studien einen Anhalt zu bieten.

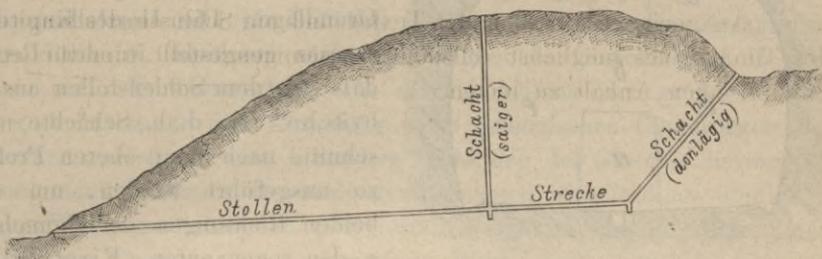
## Erster Abschnitt.

## Die bergmännischen Arbeiten und deren Hilfsmittel im allgemeinen.

§ 1. Allgemeines. Der Bergmann, dessen Aufgabe es ist, aus dem Innern der Erde Kohlen und Erze zu Tage zu fördern, muß sich zur Lösung dieser Aufgabe zunächst Verbindungswege von aufsen, „von Tage aus“ zu den Lagerstätten im Erdinnern herstellen,

auf denen die zu gewinnenden Materialien befördert werden können. Diese Verbindungswege führen entweder in wagenrechter oder viel-

mehr flach geneigter Lage in das Innere des Berges und dann heißen sie Stollen, oder sie sind lotrecht oder stark geneigt angelegt und werden dann Schächte genannt und zwar im ersteren Falle „saigere“ Schächte, im letzteren „donlägige“ Schächte, vergl. Fig. 1.

Fig. 1. *Stollen und Schächte.*

Stollen, die von einem Schachte ausgehen und unter Umständen zwei Schächte miteinander verbinden, heißen Strecken.

Die Stollen und Strecken haben in der Regel bei rechteckigem Querschnitte eine Weite von  $1\frac{1}{2}$  bis  $2\frac{1}{2}$  m und eine Höhe von 2 bis  $2\frac{1}{2}$  m. In den älteren massigen Gesteinsarten bedürfen sie keinerlei Abstützung; in weniger festem Gestein werden sie mit Holz abgestützt, im Bergbau meistens mit Ausmauerung versehen, die einen elliptischen Querschnitt erhält. Ebenso werden auch die Schächte beim Bergbau meistens ausgemauert und erhalten in der Mauerung einen kreisrunden oder elliptischen Querschnitt. Nur Schächte für kürzere Betriebsdauer werden mit einfachem Holzausbau versehen, um sie gegen Einsturz zu sichern.

Auch bei den Tunnelbauten muß man in ähnlicher Weise wie beim Bergbau vielfach zunächst Stollen, zuweilen auch Schächte bis zu dem geplanten Tunnel, dem eigentlichen Arbeitsfeld, herstellen, um mit ihrer Hilfe die zur Herstellung der Tunnelröhre zu lösenden Boden- und Felsmassen fortschaffen, das Gebirgswasser aus dem Bau entfernen und die zur Auszimmerung und Ausmauerung nötigen Baustoffe in den Tunnel schaffen zu können. Schächte werden dann notwendig, wenn es sich bei langen Tunneln zur Ermöglichung einer entsprechend kurzen Bauzeit um Gewinnung mehrerer Angriffspunkte handelt, von denen aus der Bau gleichzeitig betrieben werden kann.

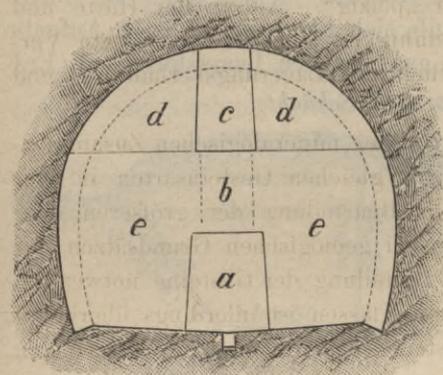
Die Herstellung dieser Hilfsanlagen, der Stollen sowohl als auch der Schächte, erfolgt beim Tunnelbau in ganz gleicher Weise, wie beim Bergbau, in beiden Fällen mit denselben Arbeiten und Hilfsmitteln. Selbstverständlich bleibt eine Ausmauerung der Stollen und Schächte beim Tunnelbau ausgeschlossen.

Diese Anlagen sind einfacher Art. Die zu ihrer Ausführung erforderlichen Arbeiten sind daher sehr geeignet, den Lernenden mit dem Wesen der unterirdischen Arbeiten vertraut zu machen und ihn auf den eigentlichen Tunnelbau vorzubereiten,

dessen Aufgabe es ist, einen Raum von beträchtlichem Querschnitt im Erdinnern frei zu machen, ihn während der Arbeit sicher abzustützen und demnächst endgiltig auszumauern.

Der große Tunnelraum wird mit nur wenigen Ausnahmen in kleineren Teilen nacheinander aufgeschlossen. In der Regel wird zunächst auch im Tunnel selbst ein Stollen für die Fortschaffung des gelösten Gesteins und der Baustoffe, sowie zur Ab-

Fig. 2. Aufschliessung des Tunnelraumes.



führung des Gebirgswassers hergestellt. In neuerer Zeit pflegt man diesen Stollen fast ausschließlich auf der Sohle des Tunnels in seiner Mitte anzulegen. Dieser Stollen *a* (Fig. 2), „Sohlenstollen“ genannt, dient den gesamten Tunnelarbeiten zur Grundlage. Die Herstellung des vollen Tunnelraumes geschieht in der Regel in der Weise, daß von dem Sohlenstollen aus sogenannte „Aufbrüche“ (*b*), d. h. Schächte mit geringem Querschnitt, nach dem oberen Profilteile des Tunnels zu ausgeführt werden, um von diesen aus in beiden Richtungen der Tunnelachse einen Stollen *c*, den sogenannten „Firststollen“ zu „treiben“.

Es folgt dann zu beiden Seiten des Firststollens die Ausweitung des oberen Profilteiles *dd*, die „Bogenausweitung“ und darauf das Beseitigen des unteren Profils, der „Strossen“ *ee* mit dem zwischen beiden Stollen befindlichen Profilteile.

Um den Einsturz des ausgebrochenen unterirdischen Raumes zu verhüten, ist es notwendig, den aufgeschlossenen Raum abzustützen.

Beim Tunnelbau erfolgt diese Abstützung zunächst vorläufig durch Holz- oder Eisenzimmerung oder Eisenrüstung und erst wenn ein bestimmter Teil des Tunnelprofils ausgebrochen ist, endgiltig durch Mauerung. —

Zur Herstellung eines Stollens, eines Schachtes und schließlich eines Tunnels sind folgende Arbeiten auszuführen:

1. Das Lösen des „Gesteins“.
2. Das „Schleppen“ und „Fördern“ der „Berge“, d. h. das Entfernen der gelösten Massen.
3. Das „Verbauen“, d. h. die Sicherung des hergestellten Hohlraumes gegen Einsturz, vorläufig durch „Verzimmerung“, endgiltig durch „Ausbau“ in Stein (unter Umständen auch in Eisen und durch bleibenden Holzausbau, wie bei einigen Tunneln in Amerika).

Zur Ermöglichung dieser eigentlichen bergmännischen Arbeiten ist noch Sorge zu tragen für „Wasserhaltung“, d. h. Entfernen des in den unterirdischen Bau eingedrungenen Wassers, für Lüftung und für „Beleuchtung“, welche Einrichtungen im dritten Abschnitte besprochen sind.

## I. Das Lösen des Gesteins.

§ 2. Einteilung der Gesteine in Bezug auf ihre Lösbarkeit. „Gestein“ oder „Gebirge“ sind die bergmännischen Benennungen für den gewachsenen Boden; beide Bezeichnungen sind sowohl für den festen Fels, als auch für weiche Bodenarten gebräuchlich, vorwiegend wendet man indessen den Ausdruck „Gestein“ auf felsige Bodengattungen, die Bezeichnung „Gebirge“ auf weiche Bodenarten an. Die Arbeiter,

die das Lösen, bergmännisch das „Gewinnen“ oder das „Abbauen“ eines Gesteins oder Gebirges ausführen, heißen „Häuer“. Das von den Häuern zu dieser Arbeit benutzte Werkzeug heißt das „Gezähe“, die gelösten Gesteinsmassen die „Berge“ oder das „Haufwerk“.

Der Widerstand, den ein Gestein dem Lösen bietet, ist im wesentlichen von der Härte und dem Zusammenhalt der einzelnen Massenteilchen abhängig. Wenn die erstere Eigenschaft bei einem Gesteine vorherrscht, so ist es spröde, das Überwiegen der letzteren Eigenschaft macht ein Gestein zähe oder „pelzig“. Aufser der Härte und dem Zusammenhalt sind noch auf die Widerstandsfähigkeit eines Gesteins sein Verhalten im Wasser und in der Luft, sowie namentlich die Lagerungsverhältnisse und etwaige Klüftungen von Einfluss.

Alle diese Eigenschaften sind nicht lediglich von der mineralogischen Zusammensetzung der Gesteine abhängig, sie treten vielmehr bei gleichen Gesteinsarten in sehr verschiedenen Graden auf. Es bietet daher für die Beurteilung der gröfseren oder geringeren Lösbarkeit der Gesteine ihre Einteilung nach geologischen Grundsätzen nur geringen Anhalt, hierfür ist vielmehr eine besondere Einteilung der Gesteine notwendig. Eine scharfe Trennung nach bestimmt abgeschlossenen Klassen ist allerdings überhaupt nicht möglich, da die Widerstandsfähigkeit der Gesteine sich in kleinen Abstufungen ändert, doch ist es für die Praxis schon von grofsem Wert, nach einzelnen Gruppen die Lösbarkeit eines Gesteins bezeichnen zu können.

Den besten Mafsstab für eine derartige Gesteinseinteilung bieten das Gezähe und die sonst noch zum Lösen erforderlichen Mittel. Danach teilt Hoffmann<sup>4)</sup> die Gesteine ein in

1. Stichgebirge (Schaufel und Spaten).
2. Haugebirge (Breithaue).
3. Pickgebirge (Spitzhacke).
4. Brechgebirge (Brechwerkzeuge).
5. Brech- und Schufgebirge (Brechwerkzeuge und Sprengmittel).
6. Schufgebirge (Sprengmittel).

Fasst man die 2. und 3. Klasse in eine unter dem Namen „Hackgebirge“ zusammen, dann entspricht diese Gesteinseinteilung der älteren, vom Bergrat Werner aufgestellten, deren Bezeichnungen wir beibehalten wollen, weil sie am gebräuchlichsten sind, obgleich sie nicht so bestimmt wie die Hoffmann'schen die Art der Lösbarkeit eines Gesteins ausdrücken.

Nach Werner ist ein Gestein entweder:

1. „Rollig“ (Stichgebirge) oder
2. „Mild“ (Hackgebirge) oder
3. „Gebräch“ (Brechgebirge) oder
4. „Fest“ (Brech- und Schufgebirge) oder
5. „Höchst fest“ (Schufgebirge).

„Rollig“ ist ein Gestein, wenn es nur geringen Zusammenhalt hat, sodafs es in steilen Wänden nicht steht, sondern sofort abrollt. Dahin gehören: Sand, Kies, Gerölle, Felsentrümmer jeder Art, die keinen Zusammenhang haben, ferner Mutterboden, in Wasser aufgeweichter Lehm, Mergel u. s. w., welche aufgeweichten Bodenarten, zu denen namentlich noch wasserreicher, feinkörniger Sand (Triebssand) gehört, im Besonderen als „schwimmende“ Gebirge bezeichnet werden.

<sup>4)</sup> Zeitschr. d. Ver. österr. Ingenieure 1862.

„Mild“ heißt ein Gestein, wenn es dem Lösen schon einigen Widerstand bietet und dabei die Breithaue oder die Spitzhaue zur Anwendung kommen müssen. Für kurze Zeit kann mildes Gestein in steilen Wänden anstehen. Als Beispiele sind zu nennen: Lehm, Thon, Mergel, lehmiger Kies u. s. w.

„Gebräches“ Gestein ist nur mit scharfem Gezähe und vorwiegend mit Brechwerkzeugen zu gewinnen. Dazu gehören alle dünn geschichteten Felsarten mit geringem Zusammenhange, besonders Schiefer, feste Steinkohle, weicher Sandstein, ferner alle verwitterten Felsarten, verwitterter Granit, verwitterter Porphyry u. s. w.

„Fest“ ist ein Gestein, wenn es mit gewöhnlichem Gezähe zweckmäßig nicht mehr gelöst werden kann, sodafs die Anwendung von Sprengmitteln notwendig wird, die aber verhältnismäßig nur geringen Widerstand finden. Man nennt diese Gesteine deshalb auch „leicht schiefbare“. Zu den festen Gesteinen sind zu rechnen: Felsen von mittelfeinem, fest verwachsenen Korn, wie namentlich die meisten Sandsteine, einige Kalksteinformationen, Dolomit u. s. w.

„Höchst fest“ oder „schwer schiefbar“ wird ein Gestein genannt, wenn es sehr grofse Härte mit sehr grofsem Zusammenhalt seiner Massenteilchen vereinigt und sich mit Stahl nicht ritzen läfst. Hier sind als Beispiele zu nennen: Basalt, Gabbro, Quarzfels, Hornstein, quarzreicher Granit, fester Porphyry, feste Grauwacke, Kiesel-schiefer u. s. w.

Durch vorstehende Gesteinseinteilung ist bereits in gewisser Weise die Arbeit des Lösens, die man allgemeinhin als „Häuerarbeit“ bezeichnet, bei den verschiedenen Gesteinsklassen gekennzeichnet, und zwar im allgemeinen insofern, als sie sich entweder auf die Anwendung des gewöhnlichen Gezähes beschränkt (bei den drei ersten Klassen), oder fast ausschließlich in „Sprengarbeit“ besteht (bei der 4. und 5. Klasse). Die erstere Arbeitsgattung nennt man im Gegensatz zur letzteren die „eigentliche Häuerarbeit“. Im Nachstehenden sollen beide Arbeiten nebst den zugehörigen Hilfsmitteln näher besprochen und es soll auch der älteren Arbeitsweisen gedacht werden, mit denen man vor Anwendung der Sprengmittel festes und höchst festes Gestein zu lösen vermochte.

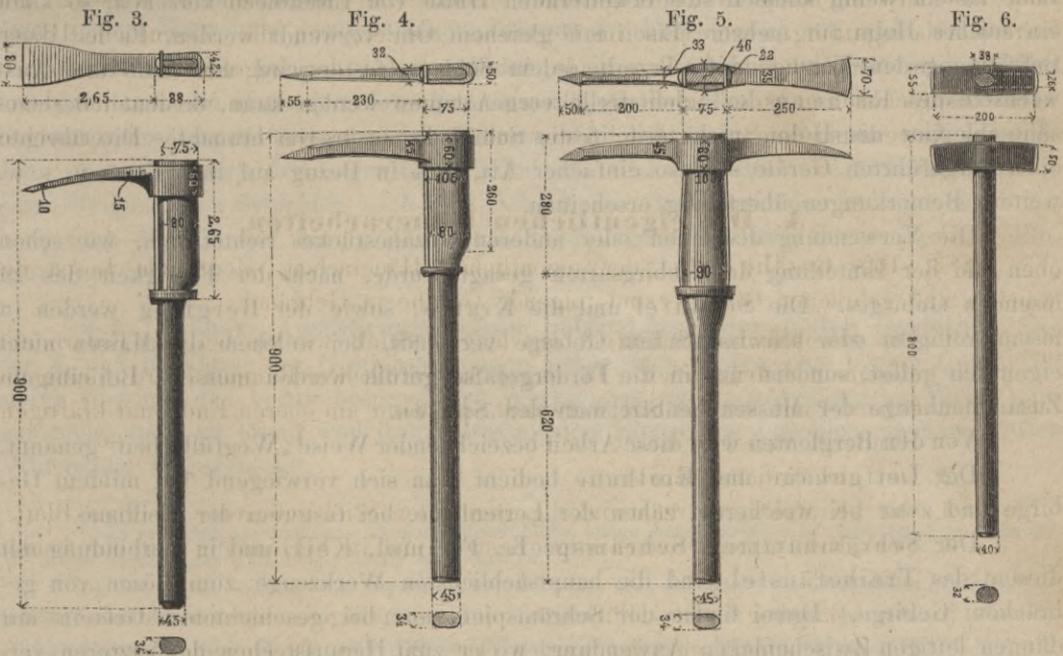
### A. Die eigentlichen Häuerarbeiten.

§ 3. Das Gezähe. Bei der eigentlichen Häuerarbeit oder beim Lösen der weichen und gebrächen Gebirge sind folgende Gezähe in Gebrauch:

1. Die gewöhnliche „Schaufel“ mit langem Stiel, wie sie bei den Erdarbeiten allgemein gebräuchlich. In engen unterirdischen Räumen wird häufig die Schaufel mit kurzem Stiel verwandt, der dann am oberen Ende mit kräftigem Handgriff versehen ist.
2. Der gewöhnliche „Spaten“.
3. Die „Kratze“, ein rechtwinkelig gegen den Stiel gebogenes eisernes Blatt.
4. Der „Krail“, eine rechenartige Kratze, und in Verbindung mit den beiden letzteren:
5. Der „Bergtrog“ oder „Fülltrog“, ein kastenartiges, eisernes Gefäß, in das die Berge hinein gekratzt werden (Fig. 20, Taf. I), Gewicht 5 kg.
6. Die „Breithaue“ (Fig. 3), auch „Lettenhaue“ oder „Platthacke“ genannt. Ihr Gewicht beträgt 2 bis 3 kg. Der am besten aus Eschenholz oder Hainbuche gefertigte Stiel wird bei diesem und ähnlichem Gezähe in der Bergmannssprache allgemein das „Helm“ genannt; das Auge, in dem er

befestigt ist, heißt das „Öhr“, der Eisenkörper im Ganzen das „Blatt“. Lläuft es, wie bei dem folgenden Werkzeuge, in eine Spitze aus, so heißt diese das „Örtchen“, der gegenüberliegende Teil des Blattes der „Nacken“.

7. Die „Spitzhacke“ oder „Keilhau“ (Fig. 4), Gewicht 2 bis 4 kg. Die Spitze muß verstäht sein.
8. Die „Doppel- oder englische Keilhau“ (Fig. 5) mit zwei verstähten Spitzen oder mit einer Spitze und einer Schneide versehen. Gewicht 2 bis 5 kg. Sie ist besonders in den Kohlenwerken in England sehr beliebt, wird dort jedoch in geringeren Abmessungen mit einem Gewichte von 1½ bis 4 kg gebraucht.
9. Der „Schrämhammer“ oder „Berghammer“, eine Spitzhacke mit hammerartig verstärktem Nacken, ein sehr zweckmäßiges und im Tunnelbau vielfach angewandtes Werkzeug. Gewicht 2 bis 4 kg.
10. Der „Schrämspieß“, eine 20 bis 25 mm dicke und 1 bis 1,5 m lange Eisenstange, die entweder in eine keilförmige oder lanzettförmige Spitze oder in eine Schneide ausläuft.
11. Die gewöhnliche „Breachstange“, auch mit gespaltenem Fußende als „Gaisfuß“.
12. Der „Fimmel“, ein quadratisches Eisen mit gebrochenen Kanten und pyramidalen Spitze, wird mit und ohne Helm benutzt.
13. Der „Keil“ in gewöhnlicher Form.
14. Das „Treibefäustel“ (siehe Fig. 6), ein Hammer aus Eisen mit verstähten „Bahnen“ (bergmännischer Ausdruck für Schlagflächen), in neuerer Zeit häufig aus Gufsstahl, im Gewicht von 5 bis 8 kg, ist an langem Helm befestigt.



Bei den unter 6. bis .9. aufgeführten Hauerwerkzeugen ist das Gewicht des einzelnen Gezähes für die Arbeitsleistung von einiger Bedeutung. Dieses muß dem Grade der Festigkeit des Gebirges angepaßt werden, um eine dem Kraftaufwande des Häuers entsprechende Leistung zu erzielen. Ist nämlich das Gezäh für die Festigkeit

eines Gebirges zu schwer, dann dringt es bei einem dem Gewichte entsprechenden Schläge zu tief in das Gebirge ein, es keilt sich fest und der Häuer hat Mühe, es wieder frei zu machen. Ist andererseits das Gezähe zu leicht, dann dringt es nicht so tief in das Gebirge ein, als nötig ist, um mit mäfsigem Kraftaufwande ein möglichst grosses Stück des Gebirges loszubrechen.

In ähnlicher Weise, wie das Gewicht eines Gezähes, ist auch der Grad seiner Schärfe von der Festigkeit des zu lösenden Gebirges abhängig. Bei festerem Gestein soll die Schneide oder die Spitze schärfer, bei weniger festem kürzer zugespitzt sein. Es empfiehlt sich in jedem einzelnen Falle, das entsprechende Gewicht und die entsprechende Schärfe des zu verwendenden Gezähes durch Versuche festzustellen.

Was die Form der in Frage stehenden Haugezähe anlangt, so ist zu bemerken, dafs das Blatt keine gerade Linie bilden darf, sondern zur Vermeidung des Prellens in der Hand des Arbeiters nach einer Kreislinie gebogen sein mufs, deren Mittelpunkt zwischen Ellenbogen und Schulter des Arbeiters liegen soll, damit der Schlag des Häuers durch das Gezähstück tangential auf die Gesteinsfläche übertragen wird, mit anderen Worten: eine senkrecht zu dieser Gesteinsfläche gedachte Gerade mufs durch das „Örtchen“ und den Stofsmittelpunkt des Gezähes gehen.

Das Helm wird in der Regel aus Eschenholz angefertigt. Diese Holzart ist hierzu wegen ihrer Leichtigkeit, Elastizität, Zähigkeit und geringen Härte sehr geeignet. Besonderer Wert ist auf die Verbindung des Helms mit dem Eisen zu legen. Die gebräuchlichste Art ist die mit Hilfe einer oder zweier Federn (Fig. 3, 4 u. 5), bei der die Befestigung jedoch nur in der Schmiede vorgenommen werden kann. Wird das Helm am oberen Ende mit einer genau in das Ohr des Blattes passenden, nach dem Ende zu ein wenig konisch sich erweiternden Hülse von Eisenblech versehen, so kann ein solches Helm für mehrere Eisen mit gleichem Ohr verwandt werden. Es hat diese Befestigung den Vorzug, dafs sie mit jedem Schläge fester wird und dafs ein Auswechseln des Eisens an der Arbeitsstelle vorgenommen werden kann, demnach der Gezäheschlepper die Helme nicht mit in die Schmiede zu tragen braucht. Die übrigen oben aufgeführten Geräte sind so einfacher Art, dafs in Bezug auf ihre Form u. s. w. weitere Bemerkungen überflüssig erscheinen.

Die Verwendung des einen oder anderen Gezähstückes richtet sich, wie schon oben bei der Einteilung der Gebirgsarten gesagt wurde, nach der Festigkeit des zu lösenden Gebirges. Die Schaufel und die Kratze, sowie der Bergtrog werden in losem, rolligem oder schwimmendem Gebirge verwandt, bei welchem die Massen nicht eigentlich gelöst, sondern nur in die Fördergefäfsse gefüllt werden müssen. Bei einigem Zusammenhange der Massen benutzt man den Spaten.

Von den Bergleuten wird diese Arbeit bezeichnender Weise „Wegfüllarbeit“ genannt.

Der Lettenhaue und Keilhaue bedient man sich vorwiegend bei mildem Gebirge und zwar bei weicherem zähen der Lettenhaue, bei festerem der Keilhaue.

Der Schrämmhammer, Schrämspiefs, Fimmel, Keil, und in Verbindung mit diesem das Treibefäustel sind die hauptsächlichsten Werkzeuge zum Lösen von gebächem Gebirge. Dabei findet der Schrämspiefs nur bei geschichtetem Gestein mit dünnen lettigen Zwischenlagen Anwendung, wo er zum Herausstechen der letzteren verwandt wird. Die Keile dienen dazu, durch Eintreiben in vorhandene Lagerungen oder Klüfte gröfsere, genügend frei gemachte Gebirgsmassen loszubrechen, während der Fimmel zu gleichem Zwecke da benutzt wird, wo natürliche Lagerungen oder Klüfte fehlen, die Massen also im Zusammenhange sind.

Die Brechstange kommt allerdings auch auf gebrächem Gestein zur Anwendung, hauptsächlich aber bei Nacharbeit des Sprengens, um bereits gelöste, aber noch im Gestein verkeilte Massen loszubrechen.

**§ 4. Ausführung der eigentlichen Häuerarbeit in mildem und gebrächem Gebirge.** Die bei dem Vortreiben eines Stollens bzw. Nederteufen eines Schachtes das Gebirge in der Vortriebsrichtung begrenzende ebene Fläche, bei ersterem „Ortstofs“, bei letzterem „Schachtsohle“<sup>5)</sup> genannt, erscheint nur nach einer Seite frei und nach fünf Seiten mit dem übrigen Gebirge verwachsen und verspannt. Das erste Einbrechen in diese volle geschlossene Fläche, das sogenannte „Einbruchmachen“, ist stets der schwierigere Teil der Arbeit. Es gilt daher ganz allgemein die Regel, dieses Einbruchmachen stets an der Stelle zu bewirken, wo es in den einzelnen Fällen am leichtesten zu bewerkstelligen ist. Gewöhnlich besteht diese Arbeit in der Herstellung eines möglichst schmalen und tiefen Schlitzes („Schram“), der über die ganze anzugreifende Fläche bei massigem Gebirge wagerecht, bei geschichtetem in der Neigung der Schichten hinweg geführt wird. Durch einen solchen Schram wird das Lösen der übrigen Masse wesentlich erleichtert, da mittels desselben für diese die Verspannung mit dem Nebengestein nach zwei Seiten aufgehoben wird. Namentlich ist das bei geschichtetem Gestein der Fall, bei dem nach Herstellung des Schrams die einzelnen Schichten mit Hilfe von Keilen, Brechstangen und den übrigen Gerätschaften abgebrochen und dadurch gröfsere Massen gleichzeitig gelöst werden können.

Bei ganz gleichartigem ungeschichtetem Gebirge wählt der Häuer die Lage des Einbruchs so, dafs er bei dieser Arbeit seine Kraft in bequemer Stellung am besten zur Wirkung bringen kann. Es ist das in einem Stollen bei einem wagerechten, etwas unter halber Mannshöhe herzustellenden Schram der Fall.

Anders ist es bei geschichtetem Gebirge, dessen Lagerung eine geneigte ist. Hier bestimmt sich die Lage des Schrams einmal nach der Festigkeit der verschiedenen Gesteinsbänke, indem man zur Erleichterung der Arbeit die mildesten wählen wird, dann aber auch nach den Lagerungsverhältnissen. Bei einfallenden Schichten, d. h. bei einer Neigung der Schichten nach dem Arbeiter zu, legt man den Schram möglichst hoch nach der „Firste“ hin; umgekehrt bei abfallender Lagerung bringt man den Einbruch an der „Sohle“ an.

**§ 5. Frühere Ausführungsweisen beim Lösen der festen Gesteine.** Die zur 4. und 5. Klasse der Gesteinsgattungen gehörenden festen und höchst festen Gesteine sind mit den bisher besprochenen Werkzeugen nur in ungenügender Weise oder gar nicht mehr zu lösen, weil ihre Festigkeit dem Eindringen derselben einen zu grofsen Widerstand entgegensetzt.

<sup>5)</sup> Es erscheint zweckmäfsig, schon an dieser Stelle einige bergmännische Bezeichnungen zu erläutern, die in der vorliegenden Abhandlung häufig wiederkehren.

Die Stirnfläche eines im Bau begriffenen Stollens nennt man das „Ort“, die Seitenwände „Seitenstöße“, „Stöße“ oder „Ulmen“, die Decke die „First“ oder das „Dach“, die untere Fläche die „Sohle“. Diese Bezeichnungen werden auch für die entsprechenden Flächen eines Tunnels benutzt, der in gewissem Sinne als Stollen mit gröfseren Abmessungen aufzufassen ist.

Beim Schachte heifsen in gleicher Weise die Wände „Stöße“, „Schachtstöße“, die untere Fläche die „Sohle“, „Schachtsohle“.

Ein Stollen wird „vorgetrieben“ oder „getrieben“, wenn derselbe in Arbeit begriffen ist, von einem Schachte sagt man: er wird „abgeteuft“.

In früherer Zeit, vor der Verwendung von Sprengstoffen beim Bergbau, wurden meistens bei „Durchörterung“ solcher Gesteine der „Schlägel“ und das „Eisen“ in Anwendung gebracht. Der Schlägel ist ein 1 bis 2 kg schwerer Hammer, das Eisen ein mit verstärkter Spitze versehenes quadratisches, 15 bis 20 cm langes Eisen, ähnlich dem Fimmel, das wie dieser bald mit, bald ohne Helm gebraucht wurde. Es wurde als Spitzmeißel verwandt, der Schlägel als Hammer und auf diese Weise der feste Felsen langsam abgearbeitet. Mit welcher unsäglichen Mühen und Kosten das Vortreiben eines Stollens in festem Gebirge verbunden war, davon erhält man eine Vorstellung, wenn man bedenkt, daß es Stollen giebt, in denen mit der „Schlägel- und Eisenarbeit“ jährlich nur 6 bis 10 m Fortschritt erzielt wurde.

Ein anderes Mittel, das früher zum Lösen des festen Gesteins angewandt wurde, war das „Feuersetzen“. Es wurde dabei an die zu durchbrechende Felswand dürres Holz gebracht und dieses angezündet. Das Gestein wurde durch die Hitze mürbe gemacht, sodafs es mit dem oben aufgeführten Gezähe gelöst werden konnte.

Beide Verfahren sind nur noch von geschichtlicher Bedeutung und haben für den Tunnelbau keinen Wert mehr, seitdem durch die Anwendung der Sprengstoffe ein Mittel geboten ist, selbst das festeste Gestein ungleich rascher und billiger zu lösen.

Nur bei untergeordneten Arbeiten, wo es gilt, geringe Gesteinsmassen zu entfernen, ohne zu schiefsen, wie z. B. bei Herstellung von Auflagern für einzubauende Hölzer, sogenannten „Bühnenlöchern“ u. s. w. werden noch jetzt der Schlägel und das Eisen, dann aber gewöhnlich „Fäustel“ und „Spitzmeißel“ genannt, gebraucht.

## **B. Die Sprengarbeit ohne Anwendung von Maschinen.**

**§ 6. Allgemeines.** Die wichtigste bergmännische Gewinnungsart ist die Sprengarbeit, die namentlich im Tunnelbau eine sehr ausgedehnte Anwendung findet und in neuerer Zeit nicht nur ausschliesslich beim Lösen der höchst festen und festen Gesteine angewandt, sondern auch mit Vorteil auf minder feste, gebräuche Gesteine ausgedehnt wird. Sie soll im Anfange des 17. Jahrhunderts vom Oberbergmeister Martin Weigel in Freiberg erfunden sein, wenigstens ist festgestellt, daß sie um diese Zeit im Freiburger und Harzer Reviere eingeführt wurde.

Mit der Sprengarbeit beginnt im Bergbau ein neuer Zeitabschnitt. Die bergmännische Gewinnung fester Gesteine, die bis dahin nur in sehr langsamer und mühevoller Weise geschehen konnte, wurde durch die Sprengarbeit wesentlich erleichtert und beschleunigt. Die Sprengarbeit hat sich immer mehr und mehr vervollkommenet und namentlich in neuerer Zeit so gewaltige Fortschritte gemacht, daß der heutige Bergwerksbetrieb, noch mehr der heutige Tunnelbau, ohne dieses Hilfsmittel gar nicht mehr gedacht werden können.

Um ein Gestein durch „Sprengen“ zu lösen, wird in dasselbe ein Loch geschlagen oder gebohrt, das man zum Teil mit einem explodierenden Stoffe füllt, dann verspundet, verdammt oder „besetzt“; schliesslich wird der Sprengstoff zur Explosion gebracht.

Die Vervollkommenung erstreckt sich auf alle einzelnen dieser Vorgänge. Die Zündung ist sicherer und einfacher geworden; zu dem früher allein in Gebrauch gewesenen Schiefspulver sind neue Sprengstoffe hinzugekommen, die ersteres mehr und mehr verdrängen; namentlich ist man in neuerer Zeit bestrebt, die Herstellung der Bohrlöcher, das „Bohren“, das bis vor 50 Jahren lediglich mit der Hand geschah, durch

Anwendung von Maschinen zu erleichtern. Es ist dies bereits in solchem Grade gelungen, daß die Maschinenbohrung bei allen längeren Tunneln zur unbedingten Notwendigkeit geworden ist und sich auch schon bei dem Bergbau überall Eingang verschafft, namentlich dort, wo es auf Gewinnung von Zeit ankommt; die Sprengarbeit that hiermit einen mächtigen Schritt vorwärts. Bei der vorliegenden Besprechung erschien es zweckmäßig, zunächst — wie dies auch durch die obenstehende Überschrift angedeutet ist — die Sprengarbeit ohne Anwendung von Maschinen zu beschreiben, und sodann das Maschinenbohren in einem besonderen Abschnitte zu behandeln.

### a) Das Handbohren.

#### § 7. Das Bohrgeähe.

1. Der Bohrer besteht aus einer am besten achtkantigen, 20 mm starken Stange von Gufsstahl, sogenanntem Bohrstahl. Für den Kopf desselben, d. h. den Teil, der unmittelbar auf das Gestein wirkt, giebt es eine große Anzahl verschiedener Formen, von denen aber die meisten veraltet sind und heute nicht mehr im Gebrauch angetroffen werden. Unter ihnen mögen, als früher vielfach im Gebrauch, Erwähnung finden der Kronenbohrer, dessen Kopf am Umfang mit mehreren Spitzen versehen war, sodaß der Bohrer dadurch ein kronenartiges Aussehen erhielt, und der Kolbenbohrer, dessen Kopf von mehreren in der Mitte des Bohrers sich kreuzenden Schneiden gebildet wurde. Man ist von ihrer Anwendung abgekommen, weil das Schärfen zu kostspielig war und man eingesehen hat, daß man mit einfacher geförmten Schneiden besser zum Ziele gelangt. Es kommen jetzt aufser dem Z-Bohrer, der sich namentlich beim Maschinenbohren als zweckmäßig bewährt, nur noch der Kreuzbohrer, dessen Kopf aus zwei sich kreuzenden Schneiden gebildet wird, und der Bohrer mit einfacher Schneide, der „Meißelbohrer“, vor, der beim Handbohren fast ausschließliche Anwendung findet.

Der Meißelbohrer wurde in Deutschland am Harz in der Mitte des vorigen Jahrhunderts durch ungarische Bergleute eingeführt.<sup>6)</sup>

Auch für die Meißelbohrer wurden verschiedene Formen erfunden, es giebt Bohrer mit gerader Schneide, gekrümmter, lanzettförmiger, keilförmiger, schwalbenschwanzförmiger, zackiger Schneide u. s. w., und die Ansichten der Bauausführenden waren bis in die neuere Zeit über die zweckmäßigste Form des Meißels sehr geteilt. Heute sind von diesen vielen verschiedenen Bohrmeißeln nur noch zwei im Gebrauch, nämlich:

1. Der gerade Meißel mit aufgebogenen Ecken (Fig. 7, S. 16),
2. der flach konvex gekrümmte Meißel (Fig. 8).

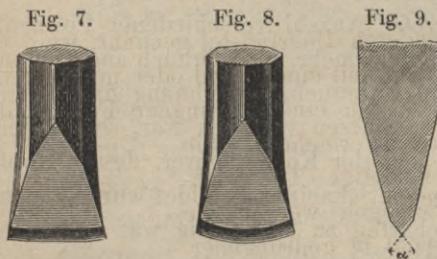
Auf sehr festem Gestein ist die erstere, auf weniger festem die zweite Form allgemein üblich. Die Breite des Meißels wechselt je nach der Lochtiefe zwischen 20 und 40 mm.

Die Länge des Bohrers ist allerdings von der Tiefe des Bohrloches abhängig; doch ist dabei nicht lediglich die endliche Tiefe desselben maßgebend. Vielmehr ist es zweckmäßig, für jedes Bohrloch mehrere Bohrer von verschiedener Länge zu benutzen, um stets möglichst kurze Bohrer anwenden zu können, weil die Führung langer Bohrer ohne entsprechende Lochtiefe schwierig und unbequem, häufig wegen des beengten Raumes auch nicht ausführbar ist; außerdem wird der auf den Nacken des

<sup>6)</sup> Eduard Rziha. Über die Theorie der bergmännischen Sprengarbeit. Berg- u. hüttenmännisches Jahrbuch der Berg-Akademien von Leoben, Przibram und Chemnitz, Bd. 16. Wien 1867. — Cofsmann. Notizen über Einführung der Bohr- und Schiefsarbeit. „Berggeist“ 1861, S. 256.

Bohrers ausgeübte Schlag um so wirksamer auf das Gestein übertragen, je kürzer der Bohrer ist. Man verwendet deshalb zur Herstellung eines Bohrloches Bohrer von drei verschiedenen Längen und unterscheidet Anfangsbohrer, für Bohrlochtiefen bis  $\frac{1}{3}$  m, Mittelbohrer, die bis  $\frac{2}{3}$  m, und endlich Abbohrer, die bis zur vollen Tiefe des Loches, 1 m und mehr, reichen. Dabei gilt als Regel, daß die wirkliche Länge des Bohrers in allen Fällen 15 bis 20 cm größer sein muß, als die größte damit abzubohrende Tiefe, um ihn noch handhaben zu können.

Da die Bohrer sich nicht nur in der Schärfe, sondern auch in der Breite abnutzen, so macht man die Meißel dieser verschieden langen Bohrer verschieden breit; und zwar die Anfangsbohrer gegenüber den Mittelbohrern und diese gegenüber den Abbohrern in der Schneide um je  $1\frac{1}{2}$  bis 2 mm, in einzelnen Fällen bei sehr festem Gestein sogar 3 bis 6 mm breiter, damit die frisch einzuführenden Bohrer bis auf die Bohrlochsohle ohne Klemmen aufgesetzt werden können.



Von besonderer Wichtigkeit ist der Grad der Schärfe des Meißels. Da die Schneide des Bohrers zermalmend auf das Gestein wirkt, so ist einleuchtend, daß bei hartem Gestein der Meißel stumpfer, d. h. der Winkel, den die Flächen der Schneide miteinander bilden (siehe Fig. 9), größer sein muß, als bei weniger hartem Gestein.

Nach Sparre<sup>7)</sup> berechnet sich der vorteilhafteste Schneidewinkel des Bohrmeißels nach der Formel  $\tan \frac{\alpha}{2} = \sqrt[3]{\varphi}$ , worin  $\alpha$  den Schneidewinkel und  $\varphi$  den Reibungswinkel des Meißels auf dem Gestein bezeichnet. Für Sandstein ist  $\varphi = 0,45$  und  $\alpha = 75^\circ$ , für Kalkstein  $\varphi = 0,24$  und  $\alpha = 64^\circ$ . Im Mittel dürfte  $\alpha = 60$  bis  $90^\circ$  angenommen werden können. Am sichersten entscheiden über den zweckmäßigsten Schneidewinkel direkte Versuche, die für jeden besonderen Fall zu empfehlen sind.

Bei der großen Zahl von Bohrern, die beim Bau eines Tunnels in festem Gestein täglich stumpf werden (beispielsweise in festem Kalkstein bis 20 Stück auf 1 m Bohrloch), sind die Kosten für das Schärfen der Bohrer sehr wesentlich, und ist daher dieser Arbeit eine besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden.

Zum Zweck des Schärfens wird der Kopf der Bohrer in einem Schmiedefeuer bis zur Dunkelrotglühhitze warm gemacht, wobei zu beachten, daß er während dieses Vorganges stets ganz mit Kohlen bedeckt und nicht dem Einflusse der Luft ausgesetzt sei, weil sonst der Stahl zuviel Kohlenstoff abgibt, wodurch er verbrennt und damit unbrauchbar wird. Der warm gemachten Schneide wird sodann durch fleißiges Hämmern die erforderliche Schärfe gegeben; hierbei dürfen keine schweren Hämmer oder heftige Schläge angewandt werden, weil sonst leicht eine Änderung des Gefüges des Stahles, welche die Bohrschneide brüchig machen würde, eintreten könnte. Benutzt man hierbei zur Nachhilfe die Feile, so muß durch nachträgliches Hämmern die Härtung der Schneide wieder hergestellt werden. Die Schneide des Bohrers wird dann in mäßig warmes Wasser einige Centimeter tief eingetaucht, wodurch sie abgekühlt, „abgeschreckt“, und damit hart wird. Dabei muß der Bohrer im Wasser ein wenig auf und nieder bewegt werden, damit das Gefüge des Stahles an der durch die Oberfläche des Wassers gebildeten Grenzlinie sich nicht zu plötzlich ändert, was einen nachteiligen Einfluß auf die Haltbarkeit des Bohrers ausüben würde.

Nachdem der Bohrer aus dem Wasser herausgenommen worden, teilt sich die Wärme des nicht eingetauchten Teiles der gehärteten Schneide wieder mit und macht diese wieder weich. Hierbei

<sup>7)</sup> Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1865, S. 56 und F. M. Stapff. Über Gesteinsbohrmaschinen. Stockholm 1869.

nimmt die Schneide nacheinander die folgenden Farben an: Hellgelb, strohgelb, hellrot, dunkelrot, violett, hellblau und schliesslich dunkelblau. Die Erfahrung lehrt nun, daß jede dieser Farben einem besonderen Härtegrade des Stahles entspricht und um den gewünschten Härtegrad zu erlangen, wirft man den Bohrer, sobald die demselben entsprechende Farbe erschienen, ganz ins Wasser, läßt ihn dort erkalten und damit erhärten. Für Bohrer, die in festem Gestein verwandt werden sollen, tritt dieser Härtegrad gewöhnlich ein, wenn der Bohrer hellgelb in das Wasser geworfen wird, bei minder festem Gestein ist eine der folgenden Farben zu wählen. Einige Versuche werden bald die richtige Farbe erkennen lassen. War der Bohrer nach dem Gebrauch platt geschlagen, so war er zu weich, ist also stärker zu härten und früher ganz ins Wasser zu tauchen; war dagegen die Schärfe teilweise ausgebrochen, so ist das ein Zeichen von zu großer Härte und daher der Bohrer erst bei Eintritt einer dunkleren Farbe abzukühlen.

Außer der Abkühlung, dem sogenannten „Tempern“ des Stahles, hat auch der Kohlenstoffgehalt Einfluß auf seine Härte, und zwar wächst diese, je größer der Kohlenstoffgehalt ist, aber mit ihr auch die Sprödigkeit, die den Stahl bei einem gewissen Grade als Bohrstahl unbrauchbar macht. Auch in dieser Hinsicht empfiehlt es sich, durch Versuche die der Härte eines gegebenen Gesteins am besten entsprechende Stahlsorte zu ermitteln.

2. Das Fäustel. Die Fäustel, hier im Besonderen Bohrfäustel genannt, werden zwischen  $2\frac{1}{2}$  und 7 kg schwer angewandt, je nachdem sie mit einer Hand oder mit beiden Händen geführt werden. Die schweren Bohrfäustel haben eine gedrungene Form mit geraden Bahnen, um die Sicherheit beim Schlagen zu vermehren. Sie werden an langen Helmen von jungem Eichenholz befestigt. Die leichteren Fäustel, bis zu 2,5 kg schwer, gleich dem Schlägel, werden wie dieser mit kurzem Helm versehen; sie kommen sowohl in gedrungener, als auch in lang gezogener und geschwungener Form (s. Fig. 10), in dieser namentlich bei den Italienern vor.

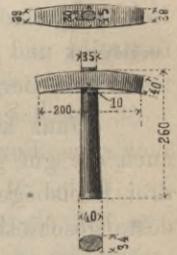
Die Fäustel werden in neuerer Zeit gleichfalls ganz aus Gußstahl hergestellt. Hierbei wird die verhältnismäßig teure Beschaffung durch die sehr geringe Abnutzung wieder ausgeglichen; auch geht aus Stapffschen Berechnungen hervor, daß Schläge mit Stahlfäusteln auf Stahlbohrer ausgeführt höchste Nutzwirkung geben.<sup>5)</sup>

3. Der Stofsbohrer, eine 1,5 bis 2 m lange, 25 mm starke Stange aus Gußstahl oder Eisen mit Gußstahlkopf, bis zu 12 kg schwer, die die beiden vorstehenden Werkzeuge ersetzt, indem damit die Bohrlöcher ohne Anwendung weiterer Werkzeuge gestofsen werden. Der Stofsbohrer ist meistens in offenen Felseinschnitten in Gebrauch, seine Anwendung ist aber auch für den Tunnelbau zu empfehlen, namentlich beim Abbauen der „Strossen“, wo Platz zu seiner Handhabung ist.

4. Der Krätzer. Das beim Bohren in Form von Körnern oder Pulver sich lösende Gestein, das sogenannte „Bohrmehl“, muß bei nach unten gerichteten Bohrlöchern von Zeit zu Zeit herausgeholt werden, um die Wirkung des Bohrers nicht zu sehr zu schwächen. Dies geschieht mit dem „Krätzer“, auch „Schlammlöffel“ genannt. Er ist aus einem festen Eisendraht von etwa 8 mm Stärke hergestellt, dessen eines Ende abgeplattet und in einem rechten Winkel umgebogen wird, während das andere, zu einem Ohr gebogene Ende den Zweck hat, Heu, Putzwolle oder dergl. aufzunehmen, um bei nassen Arbeitsstellen die Bohrlöcher vor dem Einbringen der Pulverladung auszutrocknen.

§ 8. Ausführung des Handbohrens. Vor Beginn des Bohrens ist das Gestein an der Stelle, an der das Loch angesetzt werden soll, rechtwinkelig zu seiner Richtung

Fig. 10.



<sup>5)</sup> Dr. Stapff. Über Gesteinsbohrmaschinen. Stockholm 1869.

durch Schläge mit dem Fäustel oder durch Abspitzen zu ebenen oder „zuzubrüsten“. Sodann geschieht das Anführen des Bohrers mit leichten Schlägen, bis ein Lochansatz gewonnen ist, der für die volle Kraftanwendung dem Bohrer die erforderliche Führung gewährt. Dies langsame Anführen der Bohrer hat noch den weiteren Zweck, die Schneide des Bohrers, die durch heftige Schläge leicht zu stark erhitzt werden kann, allmählich zu erwärmen und so jede ungleichmäßige Gefügeänderung des Stahles möglichst zu vermeiden, eine Vorsicht, die bei Anführung jedes neu geschärften Gezähes sehr zu beachten ist.

Der Bohrer dringt mit jedem Schläge um ein gewisses Maß in das Gestein ein, indem er zermalmend und absprengend auf dasselbe wirkt. Diese Wirkung würde aber schon nach einigen Schlägen aufhören, wenn man auf den Bohrer schlagen würde, ohne seine Lage zu verändern. Der Bohrer muß daher nach jedem einzelnen Schläge gehoben und durch eine, der Festigkeit des Gesteins entsprechende Drehung frisch auf die Sohle aufgesetzt werden, sodafs er beim neuen Schlagen das zwischen der vorhergegangenen Einkeilung und der neuen Lage der Schneide befindliche Gestein abzusprengen imstande ist. Diese drehende Bewegung des Bohrers nennt man das „Setzen“. Es erfordert viel Übung, namentlich bei tieferen Löchern und auf festem Gestein. Um das Setzen zu erleichtern, werden die Bohrer meistens 6- oder 8 kantig hergestellt. Bei mangelhaftem Setzen wird das Loch eckig und krumm, sodafs sich der Bohrer festreibt und das Loch nicht fertiggestellt werden kann. Ein derartig verbohrt Loch nennt der Bergmann einen „Fuchs“.

Ganz kreisrunde Löcher kommen in Wirklichkeit allerdings überhaupt nicht vor, auch die gut gebohrten Löcher haben meist einen Querschnitt, der die Form eines aus drei Kreisbögen gebildeten Dreiecks darstellt. Je weniger diese Eckform hervortritt, desto geschickter ist der Bohrhäuer.

Bei Löchern, die nach unten gerichtet sind, hat sich nach einer Anzahl Schläge soviel „Bohrmehl“ in ihnen angesammelt, dafs dadurch die Schlagwirkung beeinträchtigt und eine Reinigung durch den Krätzer erforderlich wird, wodurch zugleich eine notwendige Unterbrechung in der sehr mühsamen Arbeit eintritt.

Beim Bohren in sehr festem, trockenen Gestein wird zweckmäfsig Wasser zu Hilfe genommen, das in das Bohrloch eingeschüttet wird, einmal um den für den Arbeiter lästigen Staub zu verhindern, sowie das Erhitzen des Bohrers zu verringern, dann aber auch, um die Arbeit des Bohrens selbst zu erleichtern. Durch das Heben und Setzen des Bohrers wird nämlich das Bohrmehl mit dem Wasser derart gemengt, dafs das Ganze ein gleichartiger Brei („Schmand“ oder „Bohrschlamm“) wird, der der Schneide des Bohrers weit weniger hinderlich ist, als das trockene, auf der Sohle sich sammelnde Bohrmehl. Um dabei das Ausspritzen des Bohrschlammes zu verhindern, legt man auf das Loch um den Bohrer einen aus Stroh gedrehten oder aus Pappe, Filz oder Leder ausgeschnittenen Ring, den „Bohrdeckel“.

Die oben erwähnten leichteren Fäustel mit kurzem Helm werden beim „einmännischen“ Bohren gebraucht, wobei ein Mann mit der einen Hand den Bohrer setzt und mit der anderen das Fäustel führt, während die schweren Fäustel mit langem Helm bei „zweimännischem“ Bohren benutzt werden, wobei ein Mann den Bohrer hält und setzt und ein zweiter mit dem Fäustel, der von geübteren Arbeitern mit gestrecktem Arm geschwungen wird, auf den Bohrer schlägt. Es wechseln dabei die Arbeiter in ihren Verrichtungen miteinander ab.

Hin und wieder kommt auch wohl bei sehr rasch herzustellenden Bohrlöchern das „dreimännische“ Bohren mit einem Bohrsetzer und zwei Zuschlägern vor. Über diese Zahl der Zuschläger geht man nicht hinaus, weil es gewöhnlich an Platz zum Stellen jener fehlt und weil die Schläge so rasch aufeinander folgen würden, daß der Bohrsetzer seine Arbeit nicht mehr würde verrichten können.

Im allgemeinen findet man beim Tunnelbau mehr das zweimännische Bohren, beim Bergbau mehr das einmännische Bohren in Anwendung. Keiner von beiden Ausführungsweisen kann unbedingt der Vorzug gegeben werden, in der Regel entscheidet der Umstand, wie die Leute, die man zur Verfügung hat, zu bohren gewohnt sind.

## b) Das Laden, Besetzen und Zünden.

**§ 9. Die Sprengstoffe im allgemeinen.** Die Stärke der Explosion eines Sprengstoffes, d. h. die Kraft, die er beim Übergang von dem festen in den gasförmigen Zustand durch plötzliche Vermehrung seines Rauminhalts äußert, hängt ab:

1. von dem Verhältnis des Raumes der entwickelten Gase zu dem des festen Körpers, und
2. von der Schnelligkeit, mit der sich diese Gase entwickeln.

Besonders diese zweite Eigenschaft ist kennzeichnend für den Sprengstoff.

Ist das Verhältnis des Rauminhalts der entwickelten Gase zu dem des festen Körpers, mit anderen Worten der spezifische Druck eines Sprengstoffes, groß und dabei die Schnelligkeit der Entwicklung der Gase gering, so äußert sich ihr Druck auf die umgebenden Gegenstände mehr allmählich, indem diese weggedrückt, weniger zermalmt werden.

Ein derartiger Sprengstoff wirkt z. B. in festem Felsen in der Weise, daß er die ihn umgebenden Massen auseinanderschiebt, das Aufliegende hebt und so das Gestein zerreißt; während derselbe Sprengstoff, auf einer frei liegenden Steinplatte zur Explosion gebracht, eine erkennbare Wirkung auf diese nicht ausübt, weil die sich allmählich entwickelnden Gase die Luft zurückdrängen und deshalb eine starke Druckspannung, die zerstörend auf die Platte wirken könnte, nicht stattfinden kann.

Ganz anders gestalten sich die Verhältnisse bei Entzündung eines Sprengstoffes von gleichem spezifischen Drucke, aber rascher, plötzlicher Entwicklung der Gase. Deren Druck auf die umgebenden Gegenstände tritt so plötzlich auf, daß sie in kleine Stücke zermalmt und diese weit fortgeschleudert werden. Bei einem derartigen in festem Felsen eingeschlossenen Schusse werden die dem Explosionskörper zunächst liegenden Gesteinsteile in Staub verwandelt, erst die entfernteren zerrissen und fortgeschleudert. Liegt ein solcher Sprengstoff frei auf einer Steinplatte, so wird bei der Explosion die umgebende Luft zurückgedrängt, aber auch gleichzeitig die Steinplatte zerbrochen, denn die Entwicklung der Gase erfolgt so plötzlich, daß der im Augenblick der Explosion vorhandene, äußerst geringe Widerstand der Luft hinreichend ist, die Explosionsgase mit großer Kraft auf die feste Unterlage wirken zu lassen.

Beide Arten von Sprengstoffen sind für das Lösen verschiedener Gesteinsarten brauchbar. In gebräuchlichem und leicht schiefbarem Gestein der 3. und 4. Klasse der oben erwähnten Gesteinsgattungen, bei denen der Zusammenhang der einzelnen Teile nicht sehr stark ist, sind erstgenannte Sprengstoffe am Platze, während in schwer schiefbaren Gesteinsarten mit innigstem Zusammenhange der einzelnen Teile und in allen klüftigen Gesteinen, in denen ein Teil der Gase langsam verbrennender Spreng-

stoffe durch die Klüfte entweicht, nur Sprengstoffe mit möglichst „brisanter“ Wirkung zweckmäfsig zu verwenden sind.

Unter den vielen Sprengstoffen sind als wichtigste Vertreter der Explosionsstoffe mit langsamer, drückender und mit rascher, zermalmender Gasentwicklung das Sprengpulver und die Nitroglycerin-Präparate (Dynamit, Sprenggelatine und Gelatinedynamit) aufzuführen.

Diese genügen den Anforderungen an einen guten Sprengstoff, nämlich:

1. möglichst grofser Sprengkraft,
2. thunlichster Unschädlichkeit der entwickelten Gase in Bezug auf die Gesundheit der Arbeiter,
3. Ungefährlichkeit des Stoffes bei der Beförderung, bei der Aufbewahrung und beim Gebrauch,

in ausreichender, bester Weise und finden daher bei weitem die gröfste Verwendung. Die meisten anderen Sprengstoffe haben für den Tunnelbau nur geringe Bedeutung.

Die Verwendung flüssiger Luft für Sprengzwecke, die neuerdings wiederholt in Vorschlag gebracht und am Simplon-Tunnel versucht worden ist, hat bisher zu brauchbaren Ergebnissen nicht geführt. Die flüssige Luft wird hierbei, nach dem Verfahren des Professors Linde in München, als Sauerstoff abgebender Teil mit brennbaren Körpern (Kohle, Petroleum und dergleichen) gemischt. Den so erhaltenen Sprengstoff nennt Linde Oxyliquid.

Es soll daher die Besprechung der Sprengstoffe lediglich auf das Schwarzpulver und die Nitroglycerin-Präparate („Dynamite“) beschränkt werden.<sup>9)</sup>

**§ 10. Das Schwarzpulver.** Das gewöhnliche Schiefspulver, in der bergmännischen Sprache zum Unterschiede von anderen Sprengstoffen häufig „Schwarzpulver“ genannt, blieb bis in die neuere Zeit als Sprengmittel beim Berg- und Tunnelbau ausschließlic in Gebrauch, und erst seit etwa 30 Jahren treten die Dynamite mit ihm in Wettbewerb.

Das Schwarzpulver ist bekanntlich eine Mischung von Salpeter, Schwefel und Holzkohle. Diese Stoffe werden fein zerkleinert, unter Wasserzusatz gemischt, die Mischung wird durch Maschinen verschiedener Art verdichtet, die so erhaltene Masse gekörnt, zuweilen auch poliert und dann getrocknet. Je nach dem Zwecke des Pulvers unterscheidet man Jagdpulver, Kriegspulver und Sprengpulver.

Jagdpulver und Gewehrpulver für Kriegszwecke zeigen naturgemäfs grofse Übereinstimmung, während das Gewehrpulver im allgemeinen, gegenüber dem Kanonen-

<sup>9)</sup> Von den übrigen Sprengstoffen seien kurz erwähnt:

1. Die Schiefsbaumwolle, Pyroxylin oder Nitrocellulose, 1846 von dem Chemiker Schoenbein erfunden, ist eine stark nitrierte Baumwolle. Für Sprengungen wird sie nur in geprefstem Zustande verwendet und zwar fast ausschließlic nur für militärische Zwecke. Schiefsbaumwolle ist heute der Ausgangsstoff für die Herstellung von Gewehr- und Geschützpulver. Der Druck der explodierten Gase beträgt nach Trauzl 15300 Atmosphären. Die Wirkung dieses Sprengstoffes ist gröfser, als die des Sprengpulvers, aber geringer als die des Dynamits.

2. Roburit. Dieser Sprengstoff gehört eigentlich in die Klasse der Sicherheits-Sprengstoffe, die nur für das Sprengen in Kohle bei Vorhandensein von Kohlenstaub und Schlagwettern bestimmt waren. Heute wird er jedoch unter dem Namen Gesteinroburit in besonderen Mischungen auch zum Sprengen in anderen Gebirgsarten gebraucht, wo man keine Zermalmung, sondern nur eine Lösung der einzelnen Gesteinsschichten wünscht, würde sich also unter gewissen Verhältnissen auch im Tunnelbau verwenden lassen. Gesteinroburit besteht im wesentlichen aus Ammonsalpeter und Binitrobenzol.

pulver und dem Sprengpulver wesentliche Unterschiede sowohl in Bezug auf die Mischungsverhältnisse der Grundstoffe, als auch in Bezug auf die Art und Weise der Herstellung, die physikalischen Eigenschaften des fertigen Erzeugnisses und die Wirkungsweise der Explosion aufweist. Jagd- und Kriegspulver besitzen größeren Salpetergehalt, innigere Mischung, höheres spezifisches Gewicht, leichtere Entzündlichkeit und heftigere Wirkung als Sprengpulver.

Die Größe des Kornes erreicht bei Gewehrpulver etwa  $\frac{2}{3}$  bis höchstens 1 mm, ist aber häufig noch wesentlich geringer. Beim Kanonenpulver nimmt man sie, den neueren Erfahrungen entsprechend, um so größer, je größer das Geschütz ist; für Feldgeschütze ist eine Korngröße von etwa 5 bis 8 mm angemessen, für die größten Marinegeschütze hat man dagegen ein Pulver hergestellt, dessen einzelne Körner unregelmäßige Würfel von 4 bis 5 cm Seitenlänge darstellen.

Die Korngröße des Sprengpulvers wechselt zwischen weiten Grenzen, von etwa 1 bis 10 mm, je nach den bald durch praktische Anforderungen der jeweiligen Gebrauchsweisen bedingten, bald aus Vorurteilen entstehenden Wünschen der betreffenden Konsumenten. Die am meisten gebräuchliche und auch am meisten zu empfehlende Korngröße liegt, wie bei dem gewöhnlichen Kanonenpulver, zwischen 5 und 8 mm.

Die Form der Körner des Sprengpulvers ist regelmäÙig, bald rund, bald eckig, die äußere Oberfläche bald matt, bald glänzend poliert. Mit dem Abrunden und Polieren der Körner bezweckt man, das gegenseitige Zerreiben derselben während der Beförderung, sowie infolge der größeren Verdichtung der Oberfläche, das Anziehen von Feuchtigkeit aus der Luft möglichst zu verhindern. Bei der älteren Herstellungsweise, wie sie noch jetzt in kleineren Fabriken allgemein üblich ist, war dieses Verfahren notwendig oder wenigstens zweckmäßig, gegenwärtig liefern indessen größere, mit neueren und vollkommeneren Maschinen ausgerüstete Fabriken ein eckiges und nur schwach poliertes Sprengpulver, das das frühere Erzeugnis an Haltbarkeit bei weitem übertrifft. Wenn bei diesen Pulversorten der Käufer dennoch aus Gewohnheit und Vorurteil auf Lieferung von runden und polierten Körnern besteht, so wird dadurch das Pulver nur unnötig verteuert.

Die Zusammensetzung des Sprengpulvers ist annähernd folgende: Salpeter 65%, Schwefel 15%, Kohle 20%, doch kommen auch vielfach Sorten von größerem oder geringerem Salpetergehalt zur Anwendung.

Die tief dunkle Farbe erhält das Pulver durch die Holzkohle, die es je nach der Holzart dunkelblau, dunkelbraun oder auch tief schwarz färbt.

Gutes Sprengpulver muß ein ziemlich gleichmäßig starkes Korn haben. Es muß frei von Staub sein, weil dieser beim Einfüllen des Pulvers in Patronen leicht verweht und zur Explosion Anlaß geben kann. Man erkennt diese Eigenschaft am besten dadurch, daß man einige Körner auf weißem Papier hin- und herrollt, das davon nicht gefärbt werden darf. Das Korn muß ferner so hart sein, daß es nicht schon während der Beförderung sich infolge des Rüttelns zerkleinert.

Das spezifische Gewicht des Pulvers beträgt etwa 1,5 (bei Kriegspulver bis zu 1,75), einschließlich der Hohlräume kommt sein Gewicht jedoch dem des Wassers beinahe gleich.

Die Explosion des Pulvers erfolgt bei rascher Erhitzung schon bei 270 bis 300° C., während bei langsamer Erhitzung diese Temperatur auf 450° C. gesteigert werden kann.

Die Angaben über die Spannung der Explosionsgase, von der die Sprengkraft abhängig ist, schwanken außerordentlich, und zwar von 1000 bis 50000 Atmosphären.

Nach der Ansicht der meisten Fachmänner dürfte sie unter Verhältnissen, wie sie in der Praxis vorkommen, etwa 4 bis 5000 Atmosphären betragen.<sup>10)</sup> Auf diese Explosionskraft haben nun zwar die Zusammensetzung des Pulvers, die Art der Herstellung, die Innigkeit der Mischung, die Höhe der Verbrennungswärme, das Verhältnis zwischen der Schnelligkeit der Gasentwicklung und der Größe des Ladungsraumes bis zu dem Augenblick, in dem er durch die Explosion erweitert wird, das Raumverhältnis des festen Rückstandes zu den entwickelten Gasen, die Abkühlung der Gase an den sie umschließenden Wänden, die zwischen den Pulverkörnern eingeschlossene Luft und deren Feuchtigkeitsgehalt Einfluss, aber alle diese Umstände können den bedeutenden Unterschied der Angaben über die Spannungen allein nicht erklären, vielmehr ist wahrscheinlich der Grund hierfür teils in der Ungenauigkeit der Messungen, für die zuverlässige Messungsweisen und genaue Maßwerkzeuge kaum herzustellen sind, teils in der Verschiedenartigkeit der Entzündung zu suchen, auf die wir weiter unten näher eingehen werden. Die Wärme der Explosionsgase wird bis zu 3000° C. angegeben.

Von besonderer Wichtigkeit für den Tunnelbautechniker ist die Beschaffenheit der Explosionsgase und deren Wirkung auf die Atmungswerkzeuge. Auch über diesen Punkt sind naturgemäß die Angaben je nach der Zusammensetzung des untersuchten Pulvers verschieden; man kann aber annehmen, dass diese Gase vornehmlich Kohlen säure und Stickstoff und zwar in Mengen von je 40 bis 50%, ferner in geringen Mengen bis zu 5 und 10% Kohlenoxyd, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff und Sauerstoff enthalten, von denen besonders die drei erstgenannten Gase den Atmungswerkzeugen schädlich sind.

In Bezug auf die Aufbewahrung des Pulvers ist noch zu bemerken, dass es vor Nässe zu schützen ist, weil es dadurch die Explosionskraft vollständig verliert. Es nimmt schon beim Lagern in der freien Luft Feuchtigkeit aus derselben auf, zerfällt dadurch und wird unbrauchbar.

Die Haltbarkeit des Pulvers ist wesentlich durch die Herstellungsweise bedingt. Während das Kriegspulver oft eine lange Reihe von Jahren hindurch aufbewahrt werden muss, ehe es zur Verwendung kommt, wird Sprengpulver meist bald nach seiner Anfertigung verbraucht; und man legt daher mit Recht zur Vermeidung von Kosten weniger Gewicht auf die Haltbarkeit, um so mehr muss aber für trockene Lagerung gesorgt werden. Eine Selbstentzündung dieses gewöhnlichen Schwarzpulvers ist auch bei längerem Lagern nicht zu befürchten.

Der Preis des Sprengpulvers beträgt je nach der Beschaffenheit 60 bis 72 M. für 100 kg ab Fabrik. Sprengpulver wird gewöhnlich in Fässern lose zu 12,5, 25 oder 50 kg verpackt, aber auch in 0,5 und 1 kg Packeten, die dann wieder in Kisten von 12,5, 25 und 50 kg verpackt werden.

## § 11. Die Nitroglycerin-Erzeugnisse.<sup>11)</sup>

1. Das Nitroglycerin. Wird Glycerin einem gekühlten Gemisch von unverdünnter Salpetersäure und Schwefelsäure unter Umrühren zugeführt, so bildet sich durch die Einwirkung der Salpetersäure auf das Glycerin Nitroglycerin, das sich nach einiger

<sup>10)</sup> Näheres über die verschiedenen Prüfungsarten der Spannkraft der Explosionsgase, die „Mörser-“, „Stangen-“, „Pistolen-“ und „Pendelprobe“ findet man in: Das Schießpulver, dessen Geschichte, Fabrikation, Eigenschaften und Proben, von Dr. J. Upmann, Braunschweig 1874, S. 179; ferner in Combes. *Traité de l'exploitation des mines.* Paris 1844 u. a. O.

<sup>11)</sup> Die Nobel'schen Nitroglycerin-Erzeugnisse von L. Tetmajer, Ingenieur und Professor am schweizerischen Polytechnikum. Hottlingen-Zürich. — Die neuen Sprengstoffe für die Civilindustrie von der Dynamit-Aktien-Gesellschaft, vormals Alfred Nobel & Co., Hamburg.

Zeit der Ruhe als eine ölige Flüssigkeit von 1,6 spezifischem Gewicht über der Säuremenge abscheidet. Nach Trennung des Nitroglycerins von der Säure wird dieses durch Waschen mit kaltem und warmem Wasser und Sodalösung von der anhaftenden Säure vollständig befreit.

Das gereinigte Nitroglycerin wurde in den ersten Jahren der Fabrikation unter dem Namen Nobels patentiertes Sprengöl, auch Nitroleum oder Glonoin (laut Preisliste vom Jahre 1867 f. d. Pfund 1 Thlr., 2 Sgr.) in den Verkehr gebracht und unmittelbar zum Sprengen benutzt. Heute bildet es nur das Ausgangsprodukt für die verschiedenen Nitroglycerin-Präparate.

Das Nitroglycerin wurde im Jahre 1847 durch den Italiener Sobrero erfunden, von dem Schweden Alfred Nobel im Jahre 1862 aber zuerst fabrikmäßig dargestellt und als Sprengmittel in die Technik eingeführt.

Das Nitroglycerin ist ein blafgelbes Öl, geruchlos, von süßem, brennend gewürzhaftem Geschmack und giftig. Das Einatmen der Dämpfe oder das Benetzen der Haut mit Nitroglycerin verursacht Kopfschmerzen und Blutandrang zum Gehirn. Bei andauernder Beschäftigung mit Nitroglycerin gewöhnt sich aber der Körper der meisten Menschen ohne Schädigung an diese Einwirkungen. Als Gegenmittel gegen die angeführten Beschwerden hat sich der Aufenthalt in frischer Luft als das beste erwiesen.

In Wasser ist das Nitroglycerin schwer, in Holzgeist, Alkohol und Äther leicht löslich. Es gefriert bei  $+6$  bis  $+8^{\circ}$  C. In dünner Schicht ausgegossen, brennt es angezündet mit einer Flamme ruhig ab, wobei sich Kohlensäure, Kohlenoxyd, Stickstoff, Sauerstoff, Wasserdämpfe und Untersalpetersäure entwickeln. Letztere bildet sich auch, wie noch später erörtert wird, bei mangelhafter oder unvollständiger Explosion der Nitroglycerin-Sprengstoffe und die Klagen der Bergleute über schlechte Gase beruhen meist auf diesem Umstande.

Durch langsames Erhitzen bis auf  $180^{\circ}$  C., sowie durch kräftige mechanische Einwirkungen, Explosion bestimmter Stoffe, wie eingekapseltes Schwarzpulver, Knallquecksilber, Zündhütchen wird Nitroglycerin zur plötzlichen Explosion gebracht.

Reines Nitroglycerin ist gegen Stofs und Druck verhältnismäßig unempfindlich; bringt man z. B. eine dünne Schicht auf einen Amboss und schlägt mit einem eisernen Hammer darauf, so explodieren nur die wirklich getroffenen Teile, während der Rest einfach fortgeschleudert wird. Nitroglycerin in Gefäßen von Holz oder Glas eingeschlossen, ist aus einer Höhe von 26 m auf festen Felsen geworfen, ohne zu explodieren; dagegen scheint es in Gefäßen von Eisen und anderen Metallen durch einen heftigen Schlag zur Explosion gebracht werden zu können.

Entgegen der früher geltenden Ansicht, wonach dieser Sprengstoff gegen Stofs oder Schlag in gefrorenem Zustande unempfindlicher ist, als in flüssigem, ist heute gerade das Gegenteil festgestellt worden und daher muß bei gefrorenem oder krystallinischem Nitroglycerin die größte Vorsicht beobachtet werden.

In reinem Zustande ist das Nitroglycerin beständig, schlecht gewaschenes dagegen zersetzt sich leicht freiwillig unter Bildung von Oxalsäure, Glycerinsäure und Untersalpetersäure. Entwickelt sich dabei eine Wärme von  $180^{\circ}$  C., so tritt Explosion ein.

Das Nitroglycerin fand trotz seiner großen Sprengkraft nur geringe Anwendung, woran nicht allein seine Gefährlichkeit schuld war, sondern auch der für ein Sprengmittel wenig geeignete flüssige Zustand, sowie ferner der Umstand, daß anfangs kein Mittel bekannt war, die zur Explosion erforderliche Erhitzung in einer für die Anwendung geeigneten Weise mit Sicherheit herbeizuführen.

2. **Das Dynamit.** Den unausgesetzten Bemühungen Alfred Nobels, der inzwischen in den Quecksilberpräparaten ein vorzügliches Mittel zur Herbeiführung der Explosion des Nitroglycerins gefunden hatte, gelang es endlich im Jahre 1867, das Sprengöl an einen festen indifferenten Körper zu binden, indem er es durch Kieselguhr aufsaugen liefs.

Zu diesem Zwecke wird die vorwaltend aus Panzern der Diatomeen bestehende sogenannte Infusorienerde oder Kieselguhr, die an vielen Orten der Erde, in Deutschland besonders in der Lüneburger Heide, mächtige Lager bildet, durch Schlämmen von anhaftendem Sand und durch Glühen (Kalcinieren) von Wasser und organischen Substanzen befreit und dann gemahlen. Die so vorbereitete Guhr wird schliesslich mit der entsprechenden Menge Nitroglycerin von Hand durchgeknetet und durch Siebe geprefst. Der auf diese Weise gewonnene Sprengstoff, dem Nobel den Namen Dynamit beilegte, bildet eine teigartige, knetbare, hellgelbe oder rosa bis braunrote Masse, in der die Eigenschaften des Nitroglycerins dieselben, wie die des freien Nitroglycerins sind. Die Farbe des Dynamits ist für seine Güte ohne jede Bedeutung, da jene durch den vollständig indifferenten Gehalt an Eisenoxyd verursacht wird. Die Verwendung des Dynamits, besonders in weichem Zustande, ist weit ungefährlicher, als die des Nitroglycerins.

Gegen die Einwirkung des Wassers ist das Dynamit, wenn es ihr nur kurze Zeit ausgesetzt wird, unempfindlich, es ist daher auch zu Sprengungen unter Wasser geeignet. Läßt man es dagegen längere Zeit unter Wasser liegen, so scheidet sich das Nitroglycerin aus und läßt nur die leere Kieselguhr zurück.

Einer Abhandlung Trauzl's<sup>12)</sup> entnehmen wir bezüglich der Zersetzbarkeit des Dynamits das Folgende:

„Eine Reihe sachgemäfs durchgeführter Versuche, insbesondere jene in dem Laboratorium des k. k. technischen und administrativen Militär-Komitees, das Untersuchungen mit jahrelang gelagertem Dynamit angestellt hat, haben zu folgenden Ergebnissen bezüglich der Zersetzbarkeit gut bereiteten Dynamits geführt:

- a) Dynamit kann unter gewöhnlichen atmosphärischen Verhältnissen wenigstens 4 bis 5 Jahre lagern, ohne dafs eine Veränderung eintritt, die gefährlicher Natur werden kann, oder auch nur die praktische Verwendbarkeit des Sprengstoffes beeinflusst.
- b) Gutes Dynamit kann wochenlang Temperaturen von 50 bis 70° C. ertragen, ohne auch nur Spuren von Zersetzung zu zeigen. Es ist also selbst durch die höchsten Temperaturen, denen Dynamit beim Fortschaffen oder bei der Lagerung ausgesetzt sein könnte, eine Zersetzung nicht zu befürchten.
- c) Alle bei gewöhnlichen Temperaturen (bis zu 60° C.) beobachteten Zersetzungen von Nitroglycerin, die indessen nach obigem nicht durch diese Temperatur selbst herbeigeführt werden, sondern nur bei schlecht gereinigtem Nitroglycerin oder nur dann vorkommen können, wenn diesem zersetzende Stoffe zugemengt werden, verlaufen in einer Weise, dafs sie das Produkt nach und nach in eine Reihe ganz unentzündlicher, inexplodibler Stoffe (Oxalsäure, Ammoniak, Wasser) überführen.“

Welch heftige Stöße Dynamit ertragen kann, ohne zu explodieren, beweisen die vielfachen Versuche, die in Dynamitfabriken in dieser Beziehung angestellt wurden und bei denen mit Dynamit gefüllte Kisten aus einer Höhe von 30 bis 50 m auf festen Felsen geworfen sind, ohne zu explodieren. Noch schlagender zeigt dies die Explosion eines Dynamit- und Pulverlagers, die am 16. November 1876 in der Nähe von Barmen beim Bau der rheinischen Eisenbahn Düsseldorf-Hörde erfolgte. In dem Magazin

<sup>12)</sup> Isidor Trauzl. Dynamite. Wien 1876.

lagerten in Fässern verpackt 17 Ctr. Sprengpulver und unmittelbar daneben in Kisten 17 Ctr. Dynamit No. 1, das zum Teil gefroren, zum Teil weich war. Merkwürdigerweise ist bei der Katastrophe nur das Pulver explodiert, während das Dynamit bis zu 200 m Entfernung in ganzen Kisten, Packeten, einzelnen Patronen und ganz kleinen Stückchen umhergeschleudert wurde, ohne zu explodieren, trotzdem es nicht nur auf weiches Ackerland, sondern auch auf festen Felsen niederfiel. Nur an einer Stelle, etwa 30 m von dem Magazin entfernt, konnte man aus einem trichterförmigen Loche von 70 cm Weite und 30 cm Tiefe mit Sicherheit auf eine kleine Dynamitexplosion schließen. Diese ist aber höchst wahrscheinlich nicht durch den Stoß des Pulvers oder den Fall des Dynamits veranlaßt, sondern dadurch, daß die Umhüllung des Dynamits gebrannt hat, denn mehrere Minuten nach der Hauptexplosion wurde noch ein heftiger Schlag gehört, der nur hiermit zusammenhängen konnte. An der Stelle, wo das Magazin gestanden, waren nicht die geringsten Spuren einer Dynamitexplosion zu sehen. Von den 17 Ctr. Dynamit wurden 14 Ctr. wieder aufgefunden, der Rest ist außer der geringen Menge, die explodiert sein muß, wahrscheinlich verbrannt, denn an vielen Stellen wurden angebrannte Patronen-Umhüllungen und Kieselguhr gefunden, ohne daß der Boden irgend welche gewaltsame Eindrücke zeigte. Die Ursache dieser Explosion, bei der glücklicherweise kein Mensch verletzt wurde, ist nicht aufgeklärt worden. —

Im Handel kommt das Guhrdynamit, wie es zum Unterschiede von den später zu besprechenden Gelatinepräparaten genannt wird, in verschiedenen Mischungen nach Wunsch der Abnehmer vor. Die gebräuchlichste Art Guhrdynamit ist Dynamit I, das 75% Nitroglycerin und 25% Kieselguhr enthält und ein spezifisches Gewicht von 1,4 besitzt. Die früher noch beliebten Sorten Dynamit II mit 45 bis 50% und Dynamit III mit 30 bis 35% Nitroglycerin werden heute nicht mehr oder nur in sehr geringem Maße angewendet.<sup>13)</sup>

Die Preise für Guhrdynamit mit 75% Nitroglyceringehalt unterliegen wegen des zur Zeit sehr starken Wettbewerbes in der Sprengstoffindustrie starken Schwankungen; der Durchschnittspreis für 100 kg ab Fabrik kann zu 145 bis 150 Mark angegeben werden.

Das Bestreben, als Aufsauge- oder Zumischmittel an Stelle der Kieselguhr verbrennbare Stoffe zu verwenden, die durch ihre Gasentwicklung zur Erhöhung der Explosionskraft beitragen, führte zur Herstellung von Dynamiten, in denen die indifferente Kieselguhr ganz durch andere Körper ersetzt ist. Hierher gehört z. B. ein in seinen Wirkungen dem Dynamit No. 2 ziemlich gleichwertiges Erzeugnis, das aus 50% Nitroglycerin und 50% salpeterisiertem Holzmehl besteht, sowie das von dem General-Direktor der Nobel'schen Dynamitfabriken, Herrn I. Trauzl erfundene, aus 75% Nitroglycerin und 25% Cellulose bestehende Cellulosedynamit, das im Gegensatz zum Guhrdynamit das Nitroglycerin im Wasser vollkommen festhält.

Alle genannten oder ähnlich zusammengesetzten Sprengmittel haben den Nachteil, unter Druck, und die meisten derselben, wie Kieselguhrdynamit, auch im Wasser das Sprengöl leicht abzugeben, wodurch oft wesentliche Gefahren herbeigeführt werden. Da ferner die bestsaugenden Stoffe, wie Kieselguhr, nicht über 75% Nitroglycerin zu binden vermögen, so konnte man keine Sprengmittel erzeugen, die mehr als 75% der Kraft des Nitroglycerins zu entwickeln vermochten. Will man aber salpeterhaltige, verbrennliche Aufsaugstoffe verwenden, was jedenfalls das Richtige ist, so muß man wegen der äußerst geringen Saugkraft des Salpeters entweder einen Überschuss an kohlenstoffhaltigen Körpern nehmen, wodurch bei der Explosion schlechte Gase entstehen, oder man kann nur sehr wenig Sprengöl binden.

Es ist wieder das Ergebnis mühevoller Studien Alfred Nobels, daß es gelang, alle diese Übelstände in glücklichster Weise zu beseitigen. Er machte nämlich die Entdeckung, daß schon geringe Mengen (2 bis 7%) einer eigentümlich bereiteten Kollodiumwolle imstande sind, das Nitroglycerin in eine Masse von syrup- bis gelatineartiger Beschaffenheit überzuführen, die unter dem stärksten Drucke und bei monatelangem Liegen unter Wasser kein Nitroglycerin absondert.<sup>14)</sup> Diese Erfindung führte zur Fabrikation der Sprengelatine und des Gelatinedynamits.

<sup>13)</sup> W. Fr. Gintl. Die Zündwaren und Explosivstoffe. Offizieller Bericht über die Wiener Weltausstellung. Wien 1873.

<sup>14)</sup> L. Tetmajer, Professor am Polytechnikum in Zürich. Die Nobel'schen Nitroglycerin-Erzeugnisse. Hottingen-Zürich.

3. Die **Sprenggelatine** oder das Sprenggummi besteht aus 90 bis 93% Nitroglycerin und 10 bis 7% aufgelöster Kollodiumwolle. Sie ist eine bernsteinartige elastische Masse von 1,6 spezifischem Gewicht. Gegen mechanische Einwirkungen, Stöße und dergleichen ist Sprenggelatine weniger empfindlich, als Sprengöl und Guhrdynamit. Rammversuche haben dargethan, dafs, während Guhrdynamit schon bei 1 mkg explodiert, die gleiche Menge Sprenggelatine noch bei einer Stofsarbeit von 3,5 mkg vollkommen unverändert blieb. Sprenggelatine bietet also auch bei der Beförderung, bei der Verwendung zu Bohrlochladungen, wie überhaupt gegenüber allen mechanischen Einwirkungen eine wesentlich höhere Sicherheit, als Kieselguhr-Dynamit. Die Unempfindlichkeit der Sprenggelatine ist nach übereinstimmenden Erfahrungen am St. Gotthard und der österreichischen Sprengmittel-Kommission so bedeutend, dafs freiliegende Ladungen selbst durch Kapseln mit einem Gramm Knallquecksilber nicht vollständig zur Explosion gebracht werden und in Bohrlöchern die Anwendung von Kapseln unsicher ist. Es werden daher Zündpatronen aus Gelatinedynamit bei Sprenggelatine mit Vorteil angewandt.

Die Explosionswärme der Sprenggelatine kann bei raschem Erhitzen nach Versuchen von Hefs zu 204° bis 240° angenommen werden; durch Zusatz von etwa 4% Kampfer wird bewirkt, dafs sie überhaupt nicht mehr explodiert, sondern bei einer Temperatur von etwa 300° absprüht oder einfach abbrennt.

Die Sprengkraft der Sprenggelatine kommt der des reinen Nitroglycerins gleich.

4. Das **Gelatinedynamit**. Durch Zusatz geringerer Mengen als 7% Kollodiumwolle zu dem Nitroglycerin vermag man dasselbe beliebig dickflüssig herzustellen. Man erreicht dadurch die Möglichkeit, sich von der Aufnahmefähigkeit der Zumischpulver fast gänzlich unabhängig zu machen, somit die indifferenten, Kraft und Raum verbrauchenden Aufsaugstoffe durch chemisch richtig zusammengesetzte Mischungen ersetzen zu können. Sprengmittel aus solchem dickflüssigen, gelatinierten Nitroglycerin und salpeterhaltigen Zumischpulvern nennt man Gelatinedynamite. Im Handel kommt z. B. hauptsächlich Gelatinedynamit No. 1 mit 65% gelatiniertem Nitroglycerin und 35% Zumischpulver vor. Das Zumischpulver besteht aus 75 bis 80% Salpeter und 25 bis 20% Holzmehl. Je nach Wunsch und Zweck werden aber auch stärkere und schwächere Gelatinedynamite hergestellt und zwar mit 70, 60 und 40 bis 50% gelatiniertem Nitroglycerin.

Die Gelatinedynamite haben alle vorzüglichen Eigenschaften der Sprenggelatine, daneben aber den grofsen Vorzug, hinreichend plastisch zu sein, um die Bohrlochräume vollkommen auszufüllen; auch können bei denselben fremdartige Zündpatronen zur Herbeiführung der vollen Explosion entbehrt werden. Sie liefern zugleich die besten Zündpatronen für reine Sprenggelatine. Das Gelatinedynamit No. 1 ist nach Kraft und Preis dem alten Guhrdynamit No. 1 gleich.

Dynamit, Sprenggelatine und Gelatinedynamit werden in Patronen mit einer Hülle von starkem Pergament- oder Paraffinpapier geliefert. Bei der Bestellung ist der Durchmesser der Patronen, der etwas kleiner als der der Bohrlöcher zu wählen ist, dem Lieferanten anzugeben. Die Patronen legt man in Pakete von 2 $\frac{1}{2}$  kg zusammen, von denen in der Regel je 10 in einer Kiste verpackt sind.

Wie das Nitroglycerin, so gefrieren auch die daraus hergestellten Sprengmittel bei einer Wärme von + 6 bis + 8° C., und zwar Kieselguhrdynamit schneller, als die Gelatine-Sprengstoffe. In gefrorenem Zustande dürfen aber Nitroglycerin-Sprengstoffe nicht verwandt werden. Das Hantieren mit diesen hat infolge erhöhter Empfind-

lichkeit gegen Reibung, Stofs u. s. w. schon häufig Unglücksfälle zur Folge gehabt. Es wird auch bei Verwendung gefrorener Nitroglycerinstoffe nie die volle Kraftentwicklung, selbst bei Benutzung stärkerer Anfangsladungen erreicht; häufig bleiben infolge unvollständiger Explosion Stücke der Patronen sitzen oder werden umhergeschleudert und gelangen in das gebrochene Gestein. Ferner sind auch bei solchen Schüssen die Gase sehr schlecht, da vielfach ein Teil der Ladung nicht explodiert, sondern abbrennt; neben Kohlenoxyd entwickelt sich, wie schon beim Nitroglycerin erwähnt, die dem menschlichen Organismus besonders schädliche Salpetersäure. Diese Erscheinungen werden dann häufig auf schlechte Beschaffenheit des Sprengstoffes zurückgeführt, während sie lediglich eine Folge des gefrorenen Zustandes der Dynamite sind. Deshalb müssen gefrorene Patronen vor ihrer Verwendung stets aufgetaut werden.

Dieses Auftauen darf niemals an sehr warmen Orten, in der unmittelbaren Nähe von Öfen, Herden, offenen Feuern, Dampfleitungen oder Dampfkesseln erfolgen. Ebenso ist das Auftauen der Nitroglycerin-Präparate in mit Sand gefüllten Kisten unbedingt zu verwerfen. Die meisten Unglücksfälle, die bei Sprengarbeiten vorkommen, sind auf die leichtsinnige Behandlung der Nitroglycerin-Präparate beim Auftauen zurückzuführen.

In größeren Mengen können Nitroglycerin-Präparate in Gefäßen von Weisblech mit doppeltem Boden und doppelten Seitenwänden weich gemacht werden, wenn der Raum zwischen den Doppelwänden mit warmem Wasser gefüllt und in den inneren Behälter der aufzutauende Sprengstoff, gewöhnlich 5 kg, gebracht wird. Derartige Gefäße sind von allen Dynamitfabriken zu beziehen.

Durchaus verwerflich ist es hierbei, den Boden des inneren Gefäßes siebartig zu durchlöchern, wie das vielfach geschieht, um die Erwärmung des Dynamits durch die durch das Sieb tretenden Wasserdämpfe zu beschleunigen.

Infolge einer solchen Anordnung erfolgte im Januar 1879 beim Bau der rheinischen Bahn in Hagen eine Explosion, deren nähere Umstände zur Verhütung ähnlicher Unfälle im Nachstehenden kurz angegeben werden sollen:

Es war nämlich bei einem starken, unerwartet eingetretenen Hochwasser das Pulver- und Dynamitlager unter Wasser gekommen, und es hatten zwei Kisten Kieselguhrdynamit zwei Tage lang im Wasser gelegen. Da das Dynamit übrigens wohlverpackt war, so nahm man keinen Anstand, diese gefrorenen Pakete in das oben bezeichnete Wärmegefäß zu bringen und die Patronen zum Laden der Bohrlöcher zu verwenden. Die meisten versagten jedoch. Abends beim Schluß der Arbeit wurden die Dynamitpakete, die noch in dem Wärmegefäß waren, herausgenommen und in den Lagerraum gebracht, das Feuer unter dem Gefäß wurde jedoch nicht ausgelöscht. Kurze Zeit nachher erfolgte im Wärmegefäß eine sehr heftige Explosion, durch die es vollständig zertrümmert wurde, glücklicherweise ohne einen Menschen zu beschädigen. Eine nähere Untersuchung zeigte, daß in einzelnen Packeten, welche der Einwirkung des Wassers ausgesetzt waren, das Nitroglycerin fast vollständig ausgelaugt war und sich auf dem Boden derselben abgelagert hatte, wo sich eine mehrere Millimeter dicke gefrorene Schicht desselben vorfand.

Die Pakete waren also in das mit einem siebförmigen Boden versehene Gefäß gebracht, die Wärme hatte das gefrorene Nitroglycerin aufgetaut und dieses war aus der Verpackung heraus durch das Sieb ins Wasser geflossen. Vermöge seiner spezifischen Schwere lagerte es sich am Boden des Gefäßes, also an der vom Feuer berührten Fläche ab und es muß sich hier eine bedeutende Menge angesammelt haben, da einen ganzen Tag lang derartige Pakete gewärmt wurden. Abends, als die Dynamitpakete herausgenommen waren und man dadurch jede Gefahr beseitigt glaubte, blieb das Wärmegefäß unbeachtet. Das Wasser darin wird über dem Feuer bald verdampft gewesen sein, sodafs eine Erwärmung des Nitroglycerins bis auf 180° C. leicht eintreten konnte, was unfehlbar eine Explosion herbeiführen mußte.

Wäre das Wärmegefäß so eingerichtet gewesen, daß das Dynamit von dem Wasser durch feste Wände und nicht durch den siebförmigen Boden getrennt gewesen wäre, so hätte diese Explosion nicht

stattfinden können, da schon beim Herausnehmen der ersten gewärmten Packete das aus diesem ausgeflossene Sprengöl hätte bemerkt werden müssen, und eine nähere Untersuchung leicht die vorhandene Beschädigung der Patronen ergeben haben würde.

Werden auf einer Baustelle mehrere Centner Dynamit an einem Tag verbraucht, so hat man mit gutem Erfolg diese in einem besonderen Trockenhause erwärmt, das mit Dampf geheizt wurde, es ist aber dabei unbedingt die Vorsicht zu gebrauchen, die Dampfrohren nach aufsen hin zu führen und dort den Dampf frei ausströmen zu lassen, damit man sicher ist, das keine höhere Temperatur als 100° im Wärmeraume entstehen kann.

Beim Bau eines sehr bedeutenden Felseinschnittes im Zuge der rheinischen Bahn Düsseldorf-Hörde in der Nähe von Barmen wurde das gefrorene Dynamit in Pferdedünger aufgetaut, indem der tägliche Verbrauch von 50 bis 100 kg mit 1 bis 1½ cbm Pferdedünger überdeckt wurde. Die Wärme desselben stieg bis zu 50° C. Etwa alle zwei bis drei Wochen mußte frischer Dünger zu diesem Zwecke beschafft werden. Größere Mengen davon dürften indessen ohne fortwährende Überwachung der Innenwärme nicht angewandt werden, da er bekanntlich in größeren Haufen unter Umständen zur Selbstentzündung kommen kann.

**§ 12. Beförderung und Aufbewahrung von Sprengmitteln.** Die Beförderung von Sprengmitteln kann wegen der Explosionsgefahr selbstredend nur unter Beachtung weitgehender Vorsichtsmaßregeln gestattet werden. Früher war die Beförderung von Dynamiten auf Eisenbahnen überhaupt ausgeschlossen, erst später sind Dynamite zur Beförderung auf Eisenbahnen in Preußen, Österreich-Ungarn und in den meisten übrigen Ländern zugelassen.

1. Für die Zulassung zur Beförderung von Sprengmaterialien aller Art, wie Sprengpulver, die verschiedenen Dynamite, Schiefsbaumwolle u. s. w., ferner Patronen, Zündschnüre, Sprengkapseln, elektrische Minenzündungen u. s. w. gelten im Bereich der Eisenbahnen Deutschlands die Bestimmungen der Eisenbahnverkehrsordnung vom 26. Oktober 1899, die im wesentlichen im Folgenden aufgeführt sind:

a) Verpackung. „Sprengpulver (Schwarzpulver) und die übrigen Pulverarten, auch in Form von Kartuschen, sowie Zündschnüre, sind in hölzerne, haltbare und dem Gewichte des Inhalts entsprechend starke Kisten und Tonnen, deren Fugen so gedichtet sind, das ein Ausstreuen nicht stattfinden kann, und welche nicht mit eisernen Reifen oder Bändern versehen sind, fest zu verpacken. Statt der hölzernen Kisten oder Tonnen können auch aus mehrfachen Lagen sehr starken und steifen gefirniften Pappdeckels gefertigte Fässer (sogenannte amerikanische Fässer), sowie metallene Behälter (ausgeschlossen solche von Eisen) verwendet werden. Die Behälter dürfen keine eisernen Nägel, Schrauben oder sonstige eiserne Befestigungsmittel haben. Vor der Verpackung in Tonnen oder Kisten muß loses Kornpulver in dichte, aus haltbaren Stoffen gefertigte, Mehlpulver in lederne Säcke geschüttet werden.“ „Das Bruttogewicht eines Behälters darf 90 kg nicht übersteigen. Die Behälter müssen mit der deutlichen, gedruckten oder schablonierten Aufschrift „Pulver“ oder „Zündschnüre“ versehen sein.“

„Patronen aus Dynamit und dynamitartigen Stoffen, zu deren Hülsen kein gefettetes oder geöltes, wohl aber paraffiniertes Papier verwendet sein darf, sind durch eine feste Umhüllung von Papier in Packete zu vereinigen; die Packete sind in hölzerne, haltbare und dem Gewichte des Inhalts entsprechend starke Kisten oder Tonnen“, die nach den gleichen Vorschriften wie für das Pulver anzufertigen sind, zu verpacken. Diese „Patronen werden nur in den ursprünglichen Behältern und nur in der Originalverpackung zum Eisenbahntransporte zugelassen. Das Bruttogewicht der Behälter darf 35 kg nicht übersteigen. Die Behälter müssen je nach ihrem Inhalte mit der deutlichen, gedruckten oder schablonierten Aufschrift „Dynamitpatronen“ u. s. w., sowie mit der Bezeichnung des Ursprungsortes (Fabrikmarke) versehen sein.“

Nitrocellulose, insbesondere Schiefsbaumwolle, unterliegt betreffs Verpackung in Kisten denselben Bestimmungen wie Pulver. „Mit einem Überzuge von Paraffin versehene Patronen

aus geprefster Schiefsbaumwolle sind vor ihrer Einlage in die Behälter durch eine feste Umhüllung von Papier in Packete zu vereinigen. Diese Patronen, sowie Schiefsbaumwolle und andere Nitrocellulose dürfen weder mit Zündungen versehen sein, noch mit solchen in denselben Behälter oder in denselben Wagen verpackt werden.“ Die Behälter müssen wasserdicht sein. „Das Bruttogewicht eines mit Schiefsbaumwolle u. s. w. gefüllten Behälters darf 90 kg, das Bruttogewicht eines mit Schiefsbaumwollepatronen gefüllten Behälters 35 kg nicht überschreiten. Die Behälter müssen mit der Aufschrift „Schiefsbaumwolle“ oder „Schiefsbaumwollepatronen“ u. s. w. versehen sein.“

Für die Verpackung von Sprengkapseln (Sprengzündhütchen), elektrischen Zündungen mit kurzen Drähten oder festem Kopfe, sowie elektrischen Zündungen an langen Guttaperchadrähten oder Bändern und an Holzstäben bestehen ausgedehnte Bestimmungen, auf die im Einzelnen einzugehen zu weit führen würde. Es soll nachstehend nur das wesentlichste hierüber angegeben werden.

Die Sprengkapseln sind zunächst in Blechbehälter, von denen jeder nicht mehr als 100 Stück enthalten darf, zu verpacken. Für die Versendung sind diese Behälter in eine Kiste und diese wiederum in eine Überkiste zu stellen. Die Deckel der Kisten müssen mittels Messing- oder verzinnter Holzschrauben befestigt werden. Die einzelne Kiste darf an Sprengsatz nicht mehr als 20 kg enthalten.

Elektrische Zündungen mit kurzen Drähten oder festem Kopfe können auch in Schachteln aus starkem und steifem Pappdeckel verpackt werden; elektrische Zündungen an langen Guttaperchadrähten oder Bändern sind höchstens zu 10 Stück in Packete zu vereinigen. Die Zündungen müssen abwechselnd an das eine und an das andere Ende zu liegen kommen. Für die Verpackung dieser elektrischen Zündungen in Kisten und Überkisten gelten dieselben Bestimmungen wie für die Sprengkapseln. Elektrische Zündungen an Holzstäben sind zu höchstens 100 Stück in kleine hölzerne Kisten und diese wiederum zu höchstens je 10 Stück in eine hölzerne Überkiste zu verpacken.

Bei der Verpackung der vorstehend aufgeführten Sprengkapseln und elektrischen Zündungen ist ganz besonders darauf zu achten, daß diese in den Behältern bzw. Schachteln, Packeten u. s. w. vollständig fest liegen, sodafs ein Schlottern nicht eintreten kann. Ebenso ist darauf zu sehen, daß die einzelnen Behälter, Packete bzw. Kisten vollständig fest in den Versandkisten untergebracht sind und daß auch ein Schlottern dieser Versandkisten in den Überkisten nicht stattfinden kann. Zu dem Zwecke sind sämtliche Zwischenräume mit entsprechendem Verpackungsmaterial auszufüllen.

b) Aufgabe zur Bahn. „Die Aufgabe und Beförderung als Eilgut ist ausgeschlossen. Die Annahme von Sendungen nach solchen Stationen und Bahnstrecken, auf denen die Beförderung explosiver Gegenstände ausgeschlossen ist, ist unstatthaft. Die Annahme zur Beförderung kann, falls der Transport nicht mit Sonderzügen bewirkt wird, von vornherein auf bestimmte Tage und für bestimmte Züge beschränkt werden. Die Bestimmung der Tage und Züge unterliegt der Genehmigung, nötigenfalls der Festsetzung der Landesaufsichtsbehörde. Die Frachtbriefe dürfen keine anderen Gegenstände umfassen. Die darin enthaltene Bezeichnung des Gegenstandes ist mit roter Tinte zu unterstreichen. Die Frachtbriefe müssen nebst Anzahl, Gattung, Zeichen und Nummer der Gefäße auch das Bruttogewicht jedes einzelnen derselben enthalten und sind für Nitrocellulose abgedruckt auszufertigen. Auf dem Frachtbrief muß vom Absender unter amtlicher Beglaubigung der Unterschrift bescheinigt sein, daß die Beschaffenheit und die Verpackung der zu versendenden Gegenstände den bestehenden Vorschriften entspricht. Außerdem muß jede Sendung, welche Patronen aus Dynamit und den übrigen aufgeführten Stoffen enthält, von einem unter amtlicher Beglaubigung von dem Fabrikanten ausgestellten Ursprungszeugnisse begleitet sein. Auch muß jeder derartigen Sendung die Bescheinigung eines vereideten Chemikers über die Beschaffenheit und ordnungsmäßige Verpackung beigegeben werden. Die Frachtgebühren sind bei der Aufgabe zu entrichten. Mit Nachnahme belastete Sendungen sind vom Transport ausgeschlossen. Auch ist die Angabe des Interesses an der Lieferung nicht zulässig. Jeder Transport muß unbeschadet anderer Vereinbarungen mit den betreffenden Eisenbahnverwaltungen im Einzelfalle, sofern er auf der Aufgabebahn verbleibt, mindestens 1 Tag, sofern er zwar auf der Aufgabebahn verbleibt, aber für Stationen von Zweigbahnen bestimmt ist, mindestens 2 Tage, sofern er sich über mehrere, unter getrennter Verwaltung stehende Bahnen bewegt, mindestens 4 Tage vor der Aufgabe unter Vorlage einer genauen und vollständigen Abschrift des Frachtbriefes bei der Abfertigungsstelle angemeldet und darf nur zu der von dieser schriftlich bestimmten Tageszeit eingeliefert werden. Transporte in Sonderzügen sind der Aufgabebahn mindestens 8 Tage vor der Aufgabe unter Bezeichnung des Transportweges anzukündigen.“

c) Ankunft auf der Bestimmungsstation und Auslieferung der Sendungen. „Die Sendungen sind dem Adressaten durch die Empfangsstation, der von einer der nächstliegenden Vorstationen unter Bezeichnung des Zuges von dem Eintreffen der Ladung Kenntnis zu geben ist, im voraus, außerdem aber sofort nach Ankunft am Bestimmungsorte zu avisieren. Die Übernahme hat innerhalb

3 Tagesstunden, die Entladung innerhalb weiterer 9 Tagesstunden nach Ankunft und Avisierung zu erfolgen. Begleitete Sendungen, die der Empfänger nicht innerhalb der vorgeschriebenen 3 Stunden übernommen hat, sind ohne weiteren Verzug von den Begleitern zu übernehmen. Ist das Gut 12 Tagesstunden nach Ankunft nicht abgefahren, so ist es der Ortspolizeibehörde zur weiteren Verfügung zu übergeben und durch diese ohne Verzug vom Bahnhofs zu entfernen. Die Ortspolizeibehörde ist befugt, die Vernichtung anzuordnen. Bis zur Übernahme ist die Ladung unter besonderer Bewachung zu halten. Die Entladung und etwaige Lagerung darf nicht auf den Gütersteigen oder in den Güterböden, sondern nur auf möglichst abgelegenen Seitensträngen oder in räumlich von den Güterböden getrennten, nicht gleichzeitig anderen Zwecken dienenden Schuppen erfolgen.“

2. Die Bestimmungen über den Verkehr mit Sprengstoffen, die Versendung auf Land- und Wasserwegen, der Handel mit Sprengstoffen und die Aufbewahrung und Verausgabung von Sprengstoffen sind für Preußen in der Polizeiverordnung, betreffend den Verkehr mit Sprengstoffen, vom 19. Oktober 1893 niedergelegt.

a) Für die Versendung und Lagerung von Sprengstoffen sind zugelassen:

„§ 2.

1. Pulver-Sprengsalpeter.
2. Folgende Nitroglycerin enthaltenden Präparate:
  - a) Dynamit I (ein bei mittlerer Temperatur plastisches, nicht abtropfbares Gemisch von Nitroglycerin mit pulverförmigen, an sich nicht sprengkräftigen und nicht selbstentzündlichen Stoffen),
  - b) Dynamit II und III (Kohldynamit, ein Gemisch von Nitroglycerin mit schiefspulverähnlichen Gemengen),
  - c) Sprenggelatine (ein bei mittlerer Temperatur zähelastisches Gemisch, bestehend aus Nitroglycerin, welches durch Nitrocellulose gelatiniert ist, mit oder ohne kohlensaure Alkalien [bezw. alkalische Erden] oder neutral reagierende Salpeterarten),
  - d) Gelatinedynamit (ein bei mittlerer Temperatur plastisches Gemisch, bestehend aus Nitroglycerin, welches durch Nitrocellulose gelatiniert ist und Holzmehl, Salpeter und kohlensauren Alkalien [bezw. alkalischen Erden]),
  - e) Karbonit (ein Gemisch von Nitroglycerin mit schiefspulverähnlichen Gemengen und mit flüssigen, an sich nicht sprengkräftigen oder nicht selbstentzündlichen Stoffen).
3. Nitrocellulose (lockere mit mindestens 20% Wassergehalt und gepresste, nicht gelatinierte), insbesondere Schiefsbaumwolle und Kollodiumwolle, sowie Gemische von Nitrocellulose mit neutral reagierenden Salpeterarten.
4. Folgende Gemische, welche Nitroverbindungen von Stoffen der aromatischen Reihe enthalten:
  - a) Sekurit (ein Gemenge von Ammoniaksalpeter, Kalisalpeter und Dinitrobenzol oder ähnlichen Stoffen).
  - b) Roburit (ein Gemisch von Chlordinitrobenzol, Chlornitronaphtalin oder Nitrochlorbenzol und Ammoniaksalpeter).
5. Kartuschen, Petarden, Feuerwerkskörper, sprengkräftige Zündungen, welche zum Entzünden von Ladungen dienen (z. B. Sprengkapseln), Zündhütchen (amorces).
6. Alle jeweilig zur Versendung auf den Eisenbahnen zugelassenen Sprengstoffe.

Zu Versuchszwecken kann die Versendung neuer, hier nicht aufgeführter Sprengstoffe auf bestimmten Wegen, sowie die Aufbewahrung und Verausgabung derselben von der Landespolizeibehörde gestattet werden.“

„§ 4. Wer Sprengstoffe in Mengen von mehr als 35 kg Bruttogewicht versendet, muß unter Angabe der Bestimmungsorte der Ortspolizeibehörde des Versendungsortes den Frachtschein zur Visierung vorlegen. Der Empfang der Sendung ist vom Empfänger auf dem dem Frachtschein beigefügten Lieferschein zu bescheinigen. Die bescheinigten Lieferscheine sind der Ortspolizeibehörde des Versendungsortes jederzeit auf Verlangen vorzulegen.“

b) Für die Verpackung der auf Land- und Wasserwegen zu befördernden Sprengstoffe gelten dieselben Bestimmungen, wie die oben aufgeführten, für die Eisenbahn gegebenen.

c) Im Besonderen gelten für den Landverkehr noch folgende Bestimmungen:

„§ 7. Die Beförderung von Sprengstoffen auf Fuhrwerken, welche Personen befördern, ist verboten. Eine Ausnahme findet nur statt, wenn in dringenden Fällen allgemeiner Gefahr, z. B. bei Eisstopfungen, die nötigen Sprengbüchsen und das zu deren Füllung erforderliche Material unter zuverlässiger Begleitung in kürzester Frist nach dem Bestimmungsort geschafft werden soll.

§ 8. Bei dem Verpacken und dem Verladen, sowie bei dem Abladen und Auspacken darf Feuer oder offenes Licht nicht gehalten, Tabak nicht geraucht werden. Das Verladen und Abladen hat unter sorgfältiger Vermeidung von Erschütterungen zu erfolgen. Die Versendungsstücke dürfen deshalb nie gerollt oder abgeworfen werden. Soll das Verladen oder Abladen ausnahmsweise nicht vor der Fabrik oder dem Lagerraum oder innerhalb dieser Räume geschehen, so ist hierzu die Genehmigung der Ortspolizeibehörde einzuholen.

§ 9. Die Versendungsstücke müssen auf dem Fuhrwerk so fest verpackt werden, daß sie gegen Scheuern, Rütteln, Stofsen, Umkanten und Herabfallen aus ihrer Lage gesichert sind, insbesondere dürfen Tonnen nicht aufrecht gestellt, müssen vielmehr gelegt und durch Holzunterlagen unter Haar- oder Strohecken gegen jede rollende Bewegung gesichert werden.

§ 10. Sprengstoffe dürfen nicht mit Zündhütchen, Zündpräparaten oder sonstigen leicht entzündlichen oder selbstentzündlichen Gegenständen zusammen verladen werden.“

„§ 11. Zur Beförderung von Sprengstoffen dienende Fuhrwerke müssen so dicht schließende Wagenkasten besitzen, daß die Sprengstoffe nicht verstreut werden können. Sind die Wagenkasten oben offen, so müssen sie mit einem dichtschießenden, feuersicheren Plantuch (z. B. imprägnierter Leinwand) überspannt sein.

Auch die Vorder- und Hinterseite der Fuhrwerke sind mit demselben Material zu schließeln.

Zum Sperren der Räder dürfen nur hölzerne Radschuhe angewendet werden, bei Eisbahn ist eine eiserne Sperrvorrichtung (Krätzer) gestattet, sofern sie ganz vom Radschuh bedeckt ist.

Die Fuhrwerke müssen als Warnungszeichen eine von weitem erkennbare, stets ausgespannt gehaltene schwarze Flagge mit einem weißen P führen.

§ 12. Fuhrwerke, welche Sprengstoffe führen, dürfen niemals ohne Bewachung bleiben.

Auf denselben darf Feuer oder offenes Licht nicht gehalten, Tabak nicht geraucht werden. Auch in der Nähe der Fuhrwerke ist das Anzünden von Feuer oder Licht, sowie das Tabakrauchen verboten.

§ 13. Fuhrwerke, welche Sprengstoffe führen, dürfen nur im Schritt fahren und von Fuhrwerken, sowie von Reitern nur im Schritt passiert werden.

Besteht ein Transport aus mehreren Fuhrwerken, so müssen diese während der Fahrt eine Entfernung von mindestens 50 m untereinander innehalten.

§ 14. Bei jedem Aufenthalt von mehr als einer halben Stunde ist eine Entfernung von mindestens 300 m von Fabriken, Werkstätten und bewohnten Gebäuden einzuhalten. Die Ortspolizeibehörde darf, falls eine geeignete Haltestelle in solcher Entfernung nicht zu finden ist, gestatten, daß eine Haltestelle in einer geringeren, wenn aber nicht anderer Schutz geboten ist, mindestens 200 m betragenden Entfernung von Fabriken, Werkstätten und bewohnten Gebäuden gewählt wird. Bei einem Aufenthalt von mehr als einer halben Stunde in der Nähe von Ortschaften ist überdies der Ortspolizeibehörde thunlichst schleunig Anzeige zu erstatten; die Ortspolizeibehörde hat darauf die ihr notwendig erscheinenden Vorichtsmaßregeln zu treffen.

§ 15. Fuhrwerke, welche Sprengstoffe führen, müssen von Eisenbahnzügen oder geheizten Lokomotiven, Dampfwalzen, Dampfpflügen und ähnlichen Maschinen möglichst weit entfernt bleiben. Neben der Eisenbahn herlaufende Wege, sowie Wege, auf welchen Dampfstraßenbahnen liegen, dürfen nur dann von solchen Fuhrwerken befahren werden, wenn der Bestimmungsort von Frachtfuhrwerk auf einem anderen gut fahrbaren Wege nicht zu erreichen ist.

§ 16. Der Transport durch zusammenhängend gebaute Ortschaften ist nur gestattet, wenn diese nicht von Frachtfuhrwerk auf gut fahrbaren Wegen umfahren werden können. Ist die Durchfahrt unvermeidlich, so hat der Transportführer der Ortspolizeibehörde Anzeige zu erstatten und deren Bestimmungen vor der Einfahrt in den Ort abzuwarten. Die Ortspolizeibehörde hat den zu nehmenden Straßenzug zu bestimmen und von anderen Fahrzeugen möglichst frei zu halten, auch Sorge zu tragen, daß die Durchfahrt ohne unnötigen Aufenthalt und mit Vermeidung besonderer Gefahren erfolgt.

§ 17. Werden zur Beförderung von Sprengstoffen Fuhrwerke verwendet, welche mit festen, dicht schließenden und feuersicher hergestellten, während des Transports unter Verschlufs gehaltenen Wagen-

kasten versehen sind, so finden hinsichtlich der Beförderung solcher Transporte nur die Vorschriften im § 11 Absatz 3 u. 4, § 12, § 13 Absatz 1 und § 14 Anwendung, und zwar die des § 14 mit der Maßgabe, daß die regelmäÙig einzuhaltende Entfernung 200 m beträÙt.

§ 18. Gerät eine Sprengstoffsendung unterwegs in einen Zustand, daß der weitere Versand bedenklich erscheint, so hat die Ortspolizeibehörde, welcher von dem Transportführer thunlichst schleunig Anzeige zu erstatten ist, die zur gefahrlosen weiteren Behandlung der Sendung nötigen Anordnungen zu treffen, und zwar je nach den Umständen unter Zuziehung eines auf ihre Aufforderung von dem Absender zu entsendenden Sachverständigen. Ist Gefahr im Verzuge, so erfolgt die Vernichtung der Sprengstoffe durch die Polizeibehörde auf Kosten des Absenders ohne vorherige Benachrichtigung desselben, wenn möglich nach der Angabe und unter Aufsicht eines Sachverständigen.

§ 19. Werden Sprengstoffe in Mengen von nicht mehr als 35 kg Bruttogewicht versendet, so finden auf dergleichen Sendungen von den Vorschriften dieses Abschnitts nur die §§ 7 bis 10 Anwendung.“

d) Für den Wasserverkehr sind folgende besonderen Bestimmungen zu beachten:

§ 20. „Auf Dampfschiffen, welche Personen befördern, dürfen Sprengstoffe nicht transportiert werden. Führen, welche Fuhrwerk mit Sprengstoffen übersetzen, dürfen nicht andere Fuhrwerke oder Personen befördern.

§ 21. Die §§ 7 bis 10, 11 Absatz 4, 12 Absatz 1, 13 Absatz 2, 14, 18 u. 19 finden für den Schiffsverkehr sinngemäÙe Anwendung. Werden zur Beförderung von Sprengstoffen eiserne oder stählerne Schiffe verwendet, welche mit dicht schließenden und feuersicher hergestellten, während des Transportes unter Verschlus gehaltenen Laderäumen versehen sind, so finden in den im Absatz 1 angezogenen Vorschriften nur die §§ 8, 11 Absatz 4, 12 Absatz 1, 14, 18 u. 19 sinngemäÙe Anwendung, und zwar die des § 14 mit der Maßgabe, daß die regelmäÙig einzuhaltende Entfernung 200 m beträÙt. Zur Versendung auf Schiffen sind Patronen der im § 2 Ziffer 2 aufgeführten Stoffe außerdem mit einer das Eindringen von Wasser oder Feuchtigkeit verhindernden Umhüllung (z. B. mit Gummilösung verklebtem Gummibeutel) zu versehen. Auf den Transport auf Führen findet dies keine Anwendung. Das Ein- und Ausladen darf nur an einer von der Ortspolizeibehörde dazu angewiesenen Stelle, welche mindestens 300 m von bewohnten Gebäuden entfernt sein muß, erfolgen. Die Ladestelle darf während dieser Benutzung dem Publikum nicht zugänglich sein und ist, wenn ausnahmsweise das Aus- und Einladen bei Dunkelheit stattfindet, mit fest- und hochstehenden Laternen zu erleuchten. Die mit Sprengstoffen gefüllten Behälter dürfen nicht eher auf die Ladestelle gebracht oder zugelassen werden, bis die Verladung beginnen soll.

§ 22. Die Sprengstoffe müssen auf dem Schiffe in einem abgeschlossenen Raume, welcher bei Dampfschiffen möglichst weit von den Kesselräumen entfernt ist, unter Deck fest verstaut werden. Bei Verladung in offenen Booten müssen letztere mit einem dichtschießenden, feuersicheren Plantuche (z. B. imprägnierte Leinwand) überspannt sein. Weder in den so benutzten, noch in den unmittelbar daran stoßenden Räumen dürfen Zündhütchen und Zündschnüre verpackt sein. Leicht entzündliche oder selbstentzündliche Stoffe, zu welchen Steinkohlen und Koks nicht gerechnet werden, sind von der gleichzeitigen Beförderung überhaupt ausgeschlossen.

§ 23. Sind zu öffnende Brücken oder Schleusen zu passieren, so hat der Transportführer dem Brücken- oder Schleusenwärter Anzeige zu erstatten und vor der Durchfahrt dessen Bestimmungen abzuwarten. Der Brücken- oder Schleusenwärter hat Sorge zu tragen, daß die Durchfahrt ohne unnötigen Aufenthalt und mit Vermeidung besonderer Gefahren erfolgt. Das Anlegen darf nur an Orten geschehen, welche während des Aufenthaltes dem Publikum nicht zugänglich sind. Die Ortspolizeibehörde ist stets vorher in Kenntnis zu setzen und hat Vorschriften über Ort und Zeit zu geben und Vorsichtsmaßregeln im einzelnen zu treffen.“

„§ 27. Die Verausgabung von Sprengstoffen, welche den Vorschriften des Reichsgesetzes vom 9. Juni 1884 (gegen den verbrecherischen und gemeingefährlichen Gebrauch von Sprengstoffen) unterliegen, an die in Bergwerken, Steinbrüchen, Bauten und gewerblichen Anlagen beschäftigten Bergleute, Arbeiter u. s. w. darf nur von denjenigen Betriebsleitern, Beamten oder Aufsehern bewirkt werden, welche nach den erlassenen Anordnungen zum Besitz von Sprengstoffen berechtigt sind. Diese Personen sind verpflichtet, über die Verausgabung ein Buch zu führen, welches den Namen der Empfänger, den Zeitpunkt der Verausgabung, die Menge der verausgabten Stoffe, sowie bei Sprengpatronen deren Jahreszahl und Nummer angiebt. Bei Staatswerken, welche besonderer Erlaubnis zum Besitz von Sprengstoffen nicht bedürfen, kann die Verausgabung von solchen Personen bewirkt werden, welche von der Verwaltung des Werkes zu der Verausgabung ausdrücklich ermächtigt sind. Die Leiter der Berg-

werke, Steinbrüche, Bauten und gewerblichen Anlagen sind verpflichtet, Mafsregeln zu treffen, welche eine Verwendung der zum Verbrauch im Betriebe verausgabten Sprengstoffe durch die Bergleute, Arbeiter u. s. w. zu anderen Zwecken ausschliessen.“

e) Über die Lagerung von Sprengstoffen wird im wesentlichen bestimmt, dafs Pulver in nicht gröfseren Mengen als 10 kg im Hause vorrätig gehalten werden darf. Gröfsere Mengen Pulver sind ausserhalb der Ortschaften in besonderen Magazine aufzubewahren, von deren Sicherheit die Polizeibehörde sich überzeugt hat. Diese Magazine müssen, wenn sie über Tage liegen, im Wirkungsbereich sachgemäfs ausgeführter und unter Aufsicht stehender Blitzableiter liegen. Die übrigen Sprengstoffe mit Ausnahme des Pulvers dürfen nur an der Herstellungsstätte oder an denjenigen Orten, wo sie innerhalb eines Betriebes zur unmittelbaren Verwendung gelangen, oder in besonderen Magazine gelagert werden.

f) Im übrigen sind in Preussen seitens der einzelnen Regierungen besondere Vorschriften für die Aufbewahrung von Sprengstoffen erlassen, von denen die für den Regierungsbezirk Düsseldorf geltenden im wesentlichen hier folgen:

„1. Explosivstofflager sind in Wänden und Dach aus leichtem, mit Wasserglas durchtränktem Holzwerk herzustellen und so einzurichten und zu betreiben, dafs Unbefugte sie nicht betreten können . . . Sie sind mit firsthohen Wällen und diese mit 2,5 m hohen gerammten Pallisaden zu umgeben. Die Sicherheit gegen den Eintritt Unbefugter und gegen Diebstahl kann durch sorgfältige und ausreichende Bewachung, durch genügend starke und hohe, gut verwahrte Umfassungsmauern u. dergl. erreicht werden.

2. Magazine für Schwarzpulver und Zündpatronen dürfen auch aus schwererem widerstandsfähigem Material (Stein, Beton u. s. w.) mit festen Wänden, jedoch mit leichter Bedachung hergestellt, müssen aber gleichfalls (No. 1) mit Wällen und Pallisaden umgeben werden . . . . .

3. Die Entfernung eines Magazins von Wohnstätten, öffentlichen Gebäuden, häufig begangenen Wegen u. s. w. ist abhängig zu machen von den besonderen Umständen des Einzelfalles. Bei freier (ungedeckter) Lage der Schutzobjekte sind aber folgende Entfernungen als Minima anzusehen:

100 m für Magazine, welche	10 bis	50 kg
250 m „ „ „	51 „	250 „
500 m „ „ „	251 „	1000 „
1000 m „ „ „	1000 und mehr	„

der in No. 2 nicht aufgeführten Explosivstoffe enthalten sollen. Diese Entfernungen können in den Fällen, wo die zu schützenden Örtlichkeiten im Besitze der Unternehmer oder solcher Personen sind, welche mit der gröfseren Nähe der Gefahr und Anlage einverstanden sind, auf die Hälfte herabgesetzt werden. Weitergehende Erleichterungen bleiben unter besonders günstigen Schutzverhältnissen vorbehalten.“

„5. Wände und Decken müssen innen mit glatt gehobelten und ineinander gefugten Brettern so verschalt sein, dafs zwischen diesen und der äufseren Verkleidung ein Raum bleibt, welcher mit Luft oder mit feuersicherem, die Wärme schlecht leitendem Material erfüllt ist. Behufs guter Ventilation sind in Deckenhöhe und über dem Fußboden gut vergitterte Luftlöcher anzubringen, durch welche der Regen nicht eindringen kann.

6. Das Dach ist ausfen mit Dachpappe oder dünnem Metallblech zu belegen, welche ebenso wie alles äufere Holzwerk weifs zu kalcken sind. Es mufs mit einem mindestens 5 m hohen guten Blitzableiter versehen sein, dessen Wurzel in stets feuchtem Erdreiche oder in Wasser endet.

7. Der Fußboden soll aus Lehmestrich oder glatt gehobelten Planken bestehen und stets mit einem Teppich aus Wolle oder Leinenzeug bedeckt sein. Metallnägel und dergleichen sind in Fußboden, Decke und Wänden nicht zu verwenden.

8. Es sind zwei nach ausfen schlagende Thüren derart anzubringen, dafs eine mindestens 1 m tiefe Vorhalle gebildet wird, welche den Einfall direkten Sonnenlichtes verhütet.

9. In jedem Vorratsmagazine (die unter 2. genannten ausgeschlossen) ist ein Maximalthermometer anzubringen.

10. Wenn das Lager für die Verwahrung verschiedenartiger Explosivstoffe dienen soll, ist für jeden derselben ein besonderer, für sich verschließbarer dichter Verschlag herzurichten.

11. Die Wälle müssen wenigstens 1 m vom Gebäude entfernt stehen, bei natürlichem Böschungswinkel 1 m Kronenbreite haben und gut begrast sein. Der freie Raum zwischen Wall und Gebäude mufs frei gehalten werden von Gras und brennbaren Stoffen. Der Wallweg mufs gekrümmt verlaufen.

12. Innerhalb und auferhalb des Magazins mufs strengste Ordnung und Sauberkeit herrschen.

13. Selbstentzündliche Gegenstände, Patronen, welche Sprengöl austreten lassen, Zündmittel, Sägespäne, Holzkohlenpulver, Sprengkapseln, Knallpräparate und feuergefährliche, sowie eiserne oder stählerne Dinge dürfen im Magazin nicht vorhanden sein oder benutzt werden. In Verbrauchsmagazinen dürfen Zündmittel und Sprengkapseln aufbewahrt werden, wenn der dafür herzurichtende Schrank in einem besonderen verschließbaren Gelasse aufgestellt ist, welches von den übrigen Explosivstoffen durch eine genügend starke Wand aus Walzblech getrennt ist.

14. Das Magazin darf nur zur Bewahrung derjenigen Explosivstoffe und höchstens derjenigen Menge derselben benutzt werden, welche der Genehmigungsschein angiebt; namentlich dürfen auch entleerte Explosivstoffhüllen (Kisten, Kartons u. s. w.) nicht darin aufbewahrt, sie müssen vielmehr an sicherer Stelle verbrannt werden.

15. Die Magazine dürfen nur mit Filzschuhen betreten und Feuer erregende Gegenstände von den Eintretenden nicht mitgeführt werden. Tabakrauchen und feuergefährliche Handlungen überhaupt sind in und bei den Magazinen verboten.

16. Die Angaben des Maximalthermometers sind jedesmal, wenn das Lager geöffnet wird, in das Lagerbuch einzutragen.

17. Für die Arbeiten im Magazin sind aufer dem Aufsichtführenden nur so viele Arbeiter zuzulassen, als notwendig sind, und diese müssen verlässliche kräftige Leute sein.

18. Das Öffnen und Schließen von Packungsgefäßen mittels Hammer, Stemmeisen u. dergl., sowie jede Manipulation mit dem Explosivstoffe selbst im Magazin ist verboten, bezw. nur dann gestattet, wann und wie es der Genehmigungsschein angiebt.

19. Die den Explosivstoff enthaltenden Gefäße dürfen nicht gestürzt, geschoben oder um einen Stützpunkt auf dem Boden gedreht, sondern sie müssen gehoben und getragen, vor Stofß überhaupt behütet werden. Sie sind in der Weise aufzuschichten, dafs sie nicht auf den Fußboden, sondern auf Kanthölzer oder starke Böcke oder Gerüste sicher zu stehen kommen und die Luft zwischen ihnen hindurchstreichen kann.

20. Wenn zur Verpackung der Explosivstoffe in den Kisten Sägespäne dienen, müssen diese vor dem Einbringen der Kisten ins Magazin entfernt werden.

21. Bei Reparaturen und Reinigungsarbeiten am Magazin müssen die Explosivstoffe vorher entfernt werden, sofern nicht der Unternehmer oder sein Lagerbuchführer bei den Arbeiten zugegen ist und sie persönlich überwacht; er ist für sichere Arbeitsweise verantwortlich.

22. Transportgefäße und Packmaterialien, welche mit Explosivstoffen beschmutzt oder verunreinigt sind, müssen an einem sicheren Orte und in gefahrloser Weise unter Aufsicht verbrannt werden. Gleiches gilt von verschütteten, verunreinigten oder verdorbenen Explosivstoffen, hierbei mufs jedoch die Aufsicht vom Unternehmer oder einem geeigneten Sachverständigen ausgeübt werden.

23. Explosivstoffe, welche sauer reagieren, oder welche Nitroglycerin aus ihrer Substanz austreten lassen, sodafs dasselbe die Patronenhülsen innen oder an den Kneifstellen fettig erscheinen läßt, dürfen in das Magazin nicht aufgenommen, auch nicht verkauft oder zum Gebrauche weggegeben oder im Magazin belassen werden; sie müssen vielmehr nach No. 22 und zwar in kleinen Mengen vernichtet werden. Explosivstoffe, welche nicht alkalisch reagieren — mit Ausnahme der in No. 2 genannten Stoffe — gelten als verdächtig; sie müssen wöchentlich hinsichtlich ihrer Güte und Beständigkeit kontrolliert werden und ist das Ergebnis in das Lagerbuch einzutragen.

24. Explosivstoffe, mit Ausnahme des Schwarzpulvers, dürfen nur in der Form fertiger Patronen, bezw. fertiger Zündungen in Magazinen aufgenommen und verausgabt werden.

25. Verbrauchsmagazine für nitroglycerinhaltige oder schiefsbaumwollhaltige Explosivstoffe dürfen (Ausnahmen vorbehalten) nicht mehr als 25 kg Explosivstoff enthalten und müssen, wenn der gelagerte Stoff gefrierbar ist, aus zwei Abteilungen bestehen, welche je mit einer verschließbaren und in die Vorhalle (No. 8) aufschlagenden Thüre versehen sind. Die eine Abteilung mufs mit einem Auftauapparat von ausreichender Gröfße ausgerüstet sein, dessen Hohlwand beim Gebrauch mit lauwarmem Wasser (von höchstens 50° C.) so beschickt wird, dafs der Sprengstoff nicht feucht wird. Die andere Abteilung kann aufer dem Sprengstoff in je einem besonderen Schranke oder einer Kiste den Tagesbedarf an Sprengkapseln und Zündschnur enthalten.

26. Das Auftauen gefrorener Sprengmittel in einer der No. 25 nicht entsprechenden Weise und die Abgabe gefrorener Sprengmittel aus den Verbrauchsmagazinen ist verboten.

27. Die Aufnahme und Ausgabe der Explosivstoffe in Magazinen, die Führung des Lagerbuches und die Aufsicht über den Magazinbetrieb, sowie das Auftauen nitroglycerinhaltiger Explosivstoffe darf

vom Unternehmer nur zuverlässigen, sachkundigen Männern und erst dann übertragen werden, wenn er der zuständigen Behörde deren Namen, Alter und Stand angegeben hat.

28. Der Name und die Funktion der Personen, welche mit den in No. 27 genannten Aufgaben betraut sind, muß nebst den polizeilichen Betriebsvorschriften auf Tafeln angebracht sein, welche außerhalb der Pallisaden und an der Magazinthüre mit der großgedruckten Überschrift „Achtung! Gefahr! Sprengstoffe“ befestigt sind.“

Für die Anlage von Hauptmagazinen unter Tage, d. h. von solchen Magazinen, in die die nicht verwendeten Sprengstoffe und Zündmittel mit Ausnahme des Pulvers, des Sprengsalpeters und der Zündhalme nach beendigter Schicht gebracht werden müssen, gelten im Oberbergamtsbezirk Dortmund folgende Bestimmungen vom 12. Januar 1895:

„Sie müssen von den im Betriebe stehenden nächsten Schächten mindestens 100 m, von den nächsten Bremsbergen, Fahr- und Förderstrecken mindestens 10 m entfernt sein; sie müssen mit zwei Zugängen versehen sein, wenn die Verausgabung der Sprengstoffe an mehr als eine Person erfolgt; an der Außenseite der Aufbewahrungsräume sind in leicht erkennbarer Weise die Worte: Warnung! Sprengstoffe! anzubringen; die Aufbewahrungsräume sind so zu verschließen, daß sie gegen Einbruch und Diebstahl möglichst gesichert sind; die Menge der in ein und demselben Raume aufzubewahrenden Sprengstoffe bestimmt der Bergrevierbeamte; Sprengpulver und Sprengsalpeter dürfen nur in besonderen, von den Aufbewahrungsräumen für die übrigen Sprengstoffe durch Verschlüsse getrennten, mit einer deutlichen Aufschrift versehenen Räumen aufbewahrt werden; dasselbe gilt von sprengkräftigen Zündungen. Diese müssen außerdem noch in einem verschließbaren Behälter untergebracht werden; die Aufbewahrungsräume für Sprengölpräparate sind so einzurichten, daß die Temperatur in denselben nicht unter + 8° C. und nicht über + 50° C. beträgt; die Aufbewahrungsräume für Sprengpulver und Sprengsalpeter müssen zwei voneinander gesonderte, verschließbare Abteilungen enthalten, von denen die von außen zugängliche — der Vorraum — zur Verausgabung, die andere daran stoßende, nur von dem Vorraum zugängliche Abteilung dagegen ausschließlich zur Aufbewahrung der Sprengstoffvorräte dient. Nur der Vorraum darf mit Licht und zwar mit Sicherheitslampen oder Laternen, deren Glas durch ein starkes Messinggitter gegen Zerschlagen gesichert ist, betreten werden. Die Erleuchtung des Vorraums durch außerhalb desselben angebrachte Laternen ist gleichfalls gestattet, nur müssen letztere gegen Beschädigung von außen gesichert sein. Die Aufbewahrungsräume dürfen Licht nur durch die geöffnete Thür des Vorraumes empfangen. Personen, welche diese Räume betreten, dürfen dies entweder nur barfuß oder unter Benutzung von Filzschuhen thun, welche über die gewöhnliche Fußbekleidung zu ziehen sind. Die Thürschwelle sind von Holz herzustellen und die Fußböden beider Abteilungen mit Haardecken zu belegen. Die Bergbehörde ist befugt, im Einzelfalle weitergehende Vorschriften zu erlassen.“

**§ 13. Vergleichung der verschiedenen Sprengstoffe.** Bei der zerstörenden Wirkung der Sprengstoffe, durch welche Versuche zur Ermittlung ihres ziffermäßigen Wirkungsgrades sehr erschwert werden, ferner bei der verschiedenen Güte der Erzeugnisse sind genaue Zahlenangaben für die Sprengkraft der verschiedenen Sprengmittel, die einen zuverlässigen Vergleich untereinander gestatten würden, nicht zu erwarten. Die nachfolgenden Angaben können daher nur dazu dienen, einen Anhalt zur Beurteilung des Wirkungsgrades der in Frage kommenden Sprengmittel zu bieten.

Trauzl giebt in seiner bereits erwähnten Abhandlung folgende Zusammenstellung:

	Schwarzpulver	Schießwolle	Nitroglycerin
1. Gasmenge in Kubikcentimetern bei 0° Temperatur, die 1 g Sprengmittel liefert . . . . .	200	1 200	2 000
2. Flammentemperatur dieser Gase in Graden Celsius . . . . .	3 300	4 500	5 200
3. Theoretisch größter Druck in Atmosphären . . . . .	4 300	15 300	26 000
4. Theoretisch größte Arbeitskraft auf 1 kg Sprengmittel in Kilogrammmeter . . . . .	42 000	200 000	400 000

Nimmt man den Wirkungsgrad des gewöhnlichen Sprengpulvers gleich eins an, so stellt sich das Verhältnis einiger anderer Sprengstoffe wie folgt:

	Nach Trauzl	Nach Sarrau
Gewöhnliches Salpeter-Sprengpulver . . . . .	1,0	1,0
Beste Sorte mit höherem Salpetergehalt und Faulbaumwolle . . . . .	3,0	—
Schiefsbaumwolle . . . . .	—	3,06
Nitroglycerin . . . . .	—	4,55
Nobel'sches Guhrdynamit No. 1 . . . . .	6,7	—

Was die Raschheit der Explosion von Schwarzpulver und Dynamit anlangt, so sei bemerkt, daß die vollständige Explosion einer 63 m langen, 26 mm dicken Wurst von Schwarzpulver 18 Sekunden in Anspruch nimmt, während dazu für eine gleiche Wurst bei einem Nitroglycerin-Präparate weniger als 0,01 Sekunde erforderlich ist.

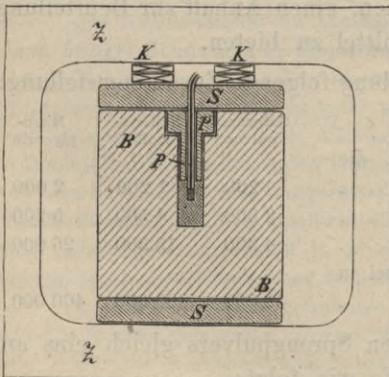
Tabelle I. Sprengkraft verschiedener Nitroglycerin-Erzeugnisse.

Name des Präparats	Zusammensetzung des Präparats	Hohlraum in ccm	Kraftverhältnis zu Nitroglycerin (genähert).
Nitroglycerin . . . . .	wasserfrei	1380	100
Sprenggelatine . . . . .	{ 93 Nitroglycerin . . . . . 7 Kollodiumwolle . . . . . }	1350	100
Gelatinedynamit I . . . . .	{ 58 Nitroglycerin . . . . . 2 Kollodiumwolle . . . . . 28 Salpeter . . . . . 12 Cellulose . . . . . }	960	70
Gelatinedynamit II . . . . .	{ 38,8 Nitroglycerin . . . . . 1,2 Kollodiumwolle . . . . . 45 Salpeter . . . . . 15 Cellulose . . . . . }	710	52
Kieselguhrdynamit I . . . . .	{ 75 Nitroglycerin . . . . . 25 Kieselguhr . . . . . }	950	70
Dynamit III . . . . .	{ 25 Sprengöl . . . . . 75 Salpeterpulver . . . . . }	550	40
Knallquecksilber . . . . .	ohne Zusatz	300	22

Sehr bemerkenswerte Versuche hat Trauzl ferner zum Vergleich der Sprengkraft der verschiedenen Nitroglycerin-Erzeugnisse untereinander angestellt, die vom Hauptmann Hefs unter dem Titel: „Versuche mit Brisanzmessern“ mitgeteilt sind. Wir entnehmen dieser Arbeit folgendes:

Trauzl bediente sich bei seinen Versuchen der in Fig. 11 in  $\frac{1}{8}$  natürlicher Größe dargestellten Vorrichtung. Sie besteht aus einem Bleicylinder *BB* von 20 cm Höhe und 20 cm Durchmesser, in dessen

Fig. 11.



Inneres die in einer Hülle von Pergamentpapier gefüllte, mit Kapsel und Zündschnur versehene cylindrische Ladung von 25 mm Durchmesser durch einen in der Achse des Cylinders ausgebohrten Kanal so eingeführt wird, daß ihr Mittelpunkt mit dem Mittelpunkte des Bleikörpers zusammenfällt. Die Stirnflächen des geladenen Bleicylinders werden nach Ausfüllung des noch freien Lochteiles mit einem cylindrischen, central durchbohrten Bleipropf *P* durch eine 25 mm dicke Stahlplatte *S* geschlossen, die zum Durchlassen der Zündschnur durchbohrt ist. Die Vorrichtung wird endlich in eine schmiedeeiserne Zwinde *ZZ* gefaßt und in deren Innenraum durch Stahlkeile *KK* verzwängt.

Die Explosion erfolgte immer so, daß der Beobachter dabei selbst in großer Nähe kaum gefährdet erschien. Nahezu die ganze Explosionswirkung wird im Bleikörper aufgezehrt,

während die Stahlplatten, die Keile und die Zwinge keine besonders bemerkenswerten Änderungen zeigen. Der von der Explosion nach außen dringende Knall ist meist dumpf und schwach.

Der Explosionsraum, dessen Gestalt und Abmessungen nach jedem Versuche durch Aufsägen des Cylinders nach dem Äquator und dem senkrecht zur Zwingenebene gestellten Meridian ermittelt wurden, zeigte im allgemeinen die Form einer Flasche mit abgerundetem Boden. Die Außenfläche des Cylinders zeigte nach der Explosion eine gegen den Äquator am stärksten auftretende, je nach der Kraft des Präparates gröfsere oder geringere Ausbauchung. Trauzl erhielt bei einer Ladung von 20 g, die durch eine mit 0,4 g Knallquecksilber gefüllte Kapsel zur Explosion gebracht wurde, die in vorstehender Tabelle verzeichneten Ergebnisse.

Diese Tabelle zeigt, wie durch Ersatz der indifferenten Aufsaugmittel durch richtig zusammengesetzte mitverbrennende Zumischmittel sehr erheblich an Sprengöl gespart werden kann, ohne Einbuse an Wirkung. So zeigt das Gelatinedynamit I eine ebenso kräftige Wirkung wie Kieselgurdynamit I, obgleich es 17% Sprengöl weniger enthält.

**§ 14. Die Zünder.** Das Entzünden des in ein Bohrloch gefüllten Sprengstoffes geschieht durch sogenannte „Zünder“, die von außen durch die „Verladung“, „Verdämmung“ oder den „Besatz“ (vergl. § 18, S. 46) des Bohrloches hindurch bis in die Sprengmasse hineinreichen und, von außen angezündet, das Feuer auf die Ladung übertragen, die dadurch entweder unmittelbar (wie bei Pulverladungen) oder mittels Zündkapseln (wie bei den Dynamiten) zur Explosion gebracht wird.

Früher verwandte man beim Schwarzpulver als Zünder brennbare Fäden: Wollfäden, die in Talg, Schwefel oder Pulverbrei u. s. w. getränkt waren; ferner mit feinem Jagdpulver gefüllte Hülsen; dünne Röhren aus Schilf, Holz, Papier, ineinander gesteckte Federkiele und Strohhalme, auch sogenannte „Raketen“, d. h. Röhren, die statt des losen Pulvers mit einem in denselben festhaftenden Pulverbrei gefüllt wurden, sodafs sie nicht ganz bis auf die Pulvermasse hinabzureichen brauchten, weil das durch den Pulverbrei sehr schnell hindurchschlagende Feuer doch durch Sprühen übertragen wurde. Bei Anwendung dieser Zünder wird während des „Besetzens“ des Loches bis auf die Sprengmasse ein Draht, die sogenannte „Raumnadel“, eingesetzt, die nach der Fertigstellung des Besatzes aus diesem herausgezogen wird und dadurch den Zündkanal zur Aufnahme des Zünders bildet. Diese Raumnadel soll aus Kupfer bestehen; sie darf nicht aus Eisen hergestellt sein, weil dieses beim Herausziehen im Besatze leicht Funken reifst, und dadurch vorzeitiges Entzünden der Ladung bewirken kann, was schon zu vielfachem Unglück Veranlassung gegeben hat. Um diese Gefahr ganz zu vermeiden, führte v. Würth im Jahre 1841 zu Freiburg das „Schiefsrohr“ ein, ein starkes Schilf, das anstatt der Nadel in den Besatz eingesetzt wird und dessen Röhre den Zündkanal bildet, in dem die Zünder wie in dem anderen Falle eingesetzt werden.

Alle diese Zünder sind heute veraltet und ist der eine oder andere von ihnen nur noch auf einzelnen alten Bergbauen, im Tunnel aber gar nicht mehr in Gebrauch; sie sind durch die von Bickford in Cornwall im Jahre 1831 erfundenen Zündschnüre, den sogenannten „Sicherheitszünder“, vollständig verdrängt worden. Dieser Zünder besteht aus einer sehr dünnen, aus feinem Jagdpulver gebildeten Pulverseele, die mit Fäden aus Hede oder Baumwolle derartig umwickelt ist, dafs dadurch eine feste Schnur gebildet wird. Zum Schutze gegen Feuchtigkeit ist die Zündschnur geteert und wird für den Gebrauch unter Wasser mit einem Überzug von Kautschuk versehen. Sie wird gerollt geliefert und kommt in Ringen von 8 m Länge in den Handel. Der Preis eines Ringes beträgt je nach der Güte 12 bis 20 Pf. ab Fabrik.

Die Bickford'schen Zünder werden in solcher Güte angefertigt, dafs selten ein Schufs infolge mangelhafter Schnur versagt, und man mit ziemlicher Sicherheit die Zeit

der Explosion der Ladung vorweg durch die Länge der Zündschnur bestimmen kann. Die Geschwindigkeit, mit der sich in der dünnen geprefsten Pulverseele der Schnur das Feuer gleichmäÙig fortpflanzt, beträgt je nach der Herstellungsweise 90 bis 100 Sekunden f. d. lauf. Meter Zündschnur.

In dieser gleichartigen Fortpflanzung des Feuers bis zur Ladung besteht ein wesentlicher Vorteil dieser Zünder gegenüber den oben angeführten, weil dadurch die Sicherheit der Arbeiter bedeutend vermehrt wird. Außerdem wird durch Anwendung dieses Zünders die Raumnadel und das bei ihr mögliche Feuerreißen vermieden, da die Schnur fest genug ist, um unmittelbar in den Besatz des Loches eingebracht zu werden. Ferner ist bei der Bickfordschnur die Weite des Zündkanals, durch den Explosionsgase entweichen können, auf das geringste Maß beschränkt. Sie gestattet jede Bohrlochtiefe, ist rasch und einfach zu handhaben und befreit die Häuer von der lästigen eigenen Anfertigung der oben genannten Zünder. Dabei sind die Kosten der Bickfordschnur, bei einem Preise von 12 bis 20 Pf. für einen Ring von 8 m Länge, geringer, als die der älteren Zünder. Diese erheblichen Vorteile haben es dahin gebracht, daß jetzt die Bickfordschnüre überall bei Sprengarbeiten fast ausschließlich zur Zündung benutzt werden, nur in besonderen Fällen kommen noch andere, nämlich elektrische Zünder, zur Anwendung, wovon in § 15 die Rede sein wird.

Bei Benutzung von Schwarzpulver, Schiefsbaumwolle und einigen anderen Sprengstoffen wird durch die in die Ladung einmündende Bickfordschnur die Explosion unmittelbar veranlaßt; nicht so bei Anwendung von Nitroglycerin-Erzeugnissen. Für die Explosion dieser Stoffe wird noch ein besonderes Hilfsmittel nötig, da sie durch das alleinige Feuer der Zündschnur nicht mit Sicherheit bewirkt werden kann. Dieses Hilfsmittel besteht in der Anwendung sogenannter „Zündkapseln“, d. h. Hülsen aus Kupferblech, ähnlich, aber größer wie die gewöhnlichen Zündhütchen, die wie diese mit Knallquecksilber gefüllt werden. Diese Zündkapseln werden auf das Ende der Bickfordzünder geschoben und daselbst festgeklemmt, sodafs bei einer Zündung zunächst das Knallquecksilber der Kapsel durch die Zündschnur entzündet wird, was die Explosion der ganzen Ladung zur sicheren Folge hat. Die Füllung der Zündkapseln beträgt 300 bis 2000 mg Zündmasse. Für Guhrdynamit und Gelatinedynamit verwendet man gewöhnlich Kapseln No. 3 mit 540 mg Ladung. Sprenggelatine und schwächere Gelatinedynamite erfordern stärkere Zündhütchen wie Nr. 4 mit 650 mg und No. 6 mit 1000 mg Zündsatz. Es empfiehlt sich überhaupt, um eine sichere und gute Wirkung der Sprengstoffe zu erzielen, lieber eine stärkere Nummer der Zündkapseln anzuwenden, als eine zu schwache; der Preisunterschied wird durch die besseren Wirkungen aufgewogen.

Sicherheitssprengstoffe auf Basis von Ammonsalpeter, wie Roburit, Dahmenit, Westfalit, Köln-Rothweiler Sicherheitspulver u. s. w. werden mit Hütchen No. 6 (1000 mg) und No. 8 (2000 mg) abgeschossen.

Die Zündkapseln werden zu je 100 Stück in Sägemehl in Blechbüchsen verpackt.

Es ist für die Praxis wichtig, daß die zur Füllung der Zündkapseln verwendete Masse eine möglichst gleichmäÙige und nicht etwa zu schwer oder zu leicht entzündbare sei, da beides gefährlich werden kann. Im ersteren Falle kann es vorkommen, daß die Zündmasse nicht explodiert; es bleibt dann der Schufs sitzen, was die Ursache sehr vieler Unglücksfälle bildet. Im zweiten Falle, wenn die Masse zu empfindlich, explodiert sie schon bei einem leichten Stofs, und ist dann ebenfalls, zumal wenn sie schon mit dem zu entzündenden Dynamit in Berührung ist, von sehr verderblicher Wirkung. Man soll daher nur die besten Zündkapseln verwenden. Ein „sitzen gebliebener“ Schufs

oder eine vorzeitige Explosion kostet meistens viel mehr als 1000 Stück der besten Zündkapseln. Eine Selbstentzündung der Zündmasse ist im allgemeinen nicht zu befürchten und nur bei sehr schlechter Mischung möglich.

Der Preis von 1000 Stück stellt sich zur Zeit wie folgt: Gewöhnliche Zündkapseln No. 3 etwa 12 M., solche mit stärkerer Füllung entsprechend teurer.

In neuerer Zeit ist von Wittenberg eine Zündkapsel (sogenannte „Patent-Zündkapsel“) angefertigt worden, bei der die Füllung nach allen Seiten hin fest eingeschlossen ist (s. Fig. 12); sie besteht aus einer doppelten Hülse. Die kleine innere Hülse ist mit dem Zündstoff gefüllt und mit dem offenen Ende nach unten in eine gewöhnliche Hülse hineingeschoben, worin sie durch Einrillung festgehalten wird. Die Zündung erfolgt wie bei der gewöhnlichen Kapsel, indem das Feuer der brennenden Zündschnur durch ein kleines Loch in dem nach oben gerichteten Boden des inneren Zündhütchens in die Zündmasse eindringt.

Fig. 12.



Mit Hilfe der Zündkapseln sind alle oben aufgeführten Sprengstoffe zur Explosion zu bringen, sobald diese in unmittelbare Berührung mit jenen gebracht werden. Bei Schwarzpulver ist die dadurch verursachte Explosion eine brisantere und heftigere, als die durch die einfache Zündung mit der Bickfordschnur bewirkte.

**§ 15. Die elektrische Zündung.** Die Anwendung des elektrischen Stromes zur Entzündung von Sprengladungen bietet gegenüber den bisher beschriebenen Entzündungsweisen zwei erhebliche Vorteile. Diese bestehen erstens in der Möglichkeit, eine gröfsere Anzahl von Schüssen ganz gleichzeitig zu entladen (vergl. § 21), zweitens in der gröfseren Sicherheit für die Arbeiter bei der Ausführung der Sprengarbeit, indem die Gefahren, die bei der Zündschnur durch das Nachbrennen derselben entstehen können, vermieden werden (vergl. § 20) und indem die Entzündung mit Hilfe der Drahtleitungen von einem beliebigen Punkte aus, in gröfserer Entfernung von den Schüssen, genau zu einer bestimmten Zeit bewirkt werden kann.

Dieser Vorzüge wegen wird die elektrische Zündung nicht nur im Berg- und Tunnelbau, sondern auch auf anderen Gebieten der Sprengtechnik angewandt. So z. B. zur Sprengung von Minen im Kriegsdienste, deren zerschmetternde Wirkung die gröfsere Entfernung mit Rücksicht auf die Sicherheit erwünscht macht und deren Zweck häufig auch wesentlich auf der Entzündung zu einem ganz bestimmten Zeitpunkte beruht; ferner zur Sprengung von Felsen unter Wasser, wobei die durch gleichzeitige Abfeuerung der Schüsse erhöhte Wirkung sehr wesentlich für die Förderung der Arbeit ist.

In dieser Beziehung bieten die gewaltigen Felssprengungen im „Hellgate“ an der nördlichen Einfahrt des Hafens von New-York ein Beispiel für die erfolgreiche Anwendung der elektrischen Zündung in grofsartigstem Mafsstabe. Es wurde daselbst u. a. ein das Fahrwasser einengender mächtiger Felsen, „Halletsriff“ genannt, am 24. September 1876 mit glücklichem Erfolge gesprengt. Nachdem in 7jähriger Arbeit, 1869 bis 1876, der Felsen durch unterirdische Stollen und Gallerien unterhöhlt worden war, wurden 23700 kg Sprengstoff, und zwar 13120 kg Dynamit und 10580 kg andere Nitroglycerin-Erzeugnisse, in rund 4400 Bohrlöcher geladen (zu dieser gefahrvollen Arbeit des Ladens allein waren 100 Arbeiter mehr als 8 Tage lang beschäftigt), und darauf diese sämtlichen 4400 Schüsse mit einer einzigen elektrischen Zündung abgefeuert. Die erforderlichen Leitungs- und Verbindungsdrähte hatten eine Länge von 67000 m.<sup>15)</sup>

<sup>15)</sup> Näheres über diese Sprengungen im Hellgate findet man: Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1872, S. 222. — Engineer 1876, Sept. S. 217. — Deutsche Bauz. 1877, S. 190. — Transactions of the American Soc. of Civ. Eng. 1877, Juni, S. 177. Grofsartige Sprengungen wurden später daselbst vorgenommen, worüber zu vergleichen: Schweiz. Bauz. 1885, S. 106. — Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 452. — Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1885, S. 327.

Im Tunnelbau ist die elektrische Zündung nur in beschränktem Maße zur Anwendung gekommen, was sich durch die Schwierigkeit erklärt, mit der die Einführung von Neuerungen in bergmännischen Betrieben gegenüber den hergebrachten Gewohnheiten der Arbeiter stets verknüpft ist. Auch erfordert die Handhabung der Vorrichtungen, das Ein- und Ausschalten und Kuppeln der Drahtleitungen eine gewisse Umständlichkeit und Sorgfalt, an die die Arbeiter erst gewöhnt werden müssen.

Man unterscheidet zwei Arten von elektrischen Zündungen, die Glüh- und die Funkenzündung und da für jede Zündungsart besondere Zünder zur Anwendung kommen müssen, so hat man Glüh- und Funkenzünder.

1. Bei den Glühzündern sind die beiden Elektroden durch einen dünnen Platindraht von sehr hohem Widerstande verbunden, der durch den elektrischen Strom zum Glühen gebracht wird; der glühende Platindraht entzündet die ihn umgebende Zündmasse, gewöhnlich Schwefelantimon und chlorsaures Kali, wodurch die Entzündung des Zündsatzes des Hütchens bewirkt und so der Sprengstoff zur Explosion gebracht wird.

2. Die Funkenzünder unterscheiden sich von den Glühzündern dadurch, daß der Platindraht zwischen den Elektroden fehlt. Beim Entladen der Maschine springt zwischen den blanken Enden der in geringer Entfernung voneinander abstehenden Elektroden ein elektrischer Funke über und bringt die Zündmasse und mit dieser die ganze Ladung zur Explosion.

Am meisten verbreitet ist die Funkenzündung, weil diese gestattet, eine große Zahl von Zündern in einer langen Zuleitung von geringem Querschnitt gleichzeitig zu sprengen. Ein wesentlicher Nachteil der Funkenzündung ist jedoch, daß es wegen der Unterbrechung der Leitung in den Zündern nicht möglich ist, sich von der guten Beschaffenheit der Leitung auf einfache Weise überzeugen zu können. Ferner verlangt diese Zündung eine gute Isolation der Leitung und der Zünder wegen der erforderlichen Verwendung hochgespannter Ströme.

Bei der Glühzündung fallen diese Übelstände weg; da bei ihr die Leitung nirgends unterbrochen ist, kann man diese mit Hilfe eines Stromes von solcher Schwäche, daß eine Zündung der Patrone ausgeschlossen ist, jederzeit prüfen, und sich so die erste Gewähr für die tadellose gleichzeitige Zündung sämtlicher Patronen verschaffen. Um die Prüfung der Leitung zu ermöglichen, ist jedoch erforderlich, daß die Patronen nicht, wie dies früher vielfach geschah, parallel, sondern hintereinander geschaltet werden.

Für die Funkenzündung wurden seither zumeist Reibungs-Elektrisiermaschinen verwendet; in neuerer Zeit sind von Siemens für diesen Zweck dynamoelektrische Funkenzündvorrichtungen eingeführt, deren Verwendung jedoch nicht nur sehr empfindliche Zünder, sondern auch eine tadellose Isolation der Leitung und Zünder voraussetzt, wenn Versager vermieden werden sollen.

Die Glühzündung erfolgte früher durch den galvanischen Strom, der von einer galvanischen Batterie ausging, dann auch mit elektrodynamischen Zündvorrichtungen, deren Leistungen jedoch in hohem Grade abhängig waren von der Kraft und Geschicklichkeit desjenigen, der die Kurbel der Vorrichtung bei der Sprengung zu bedienen hatte.

Es sind nun neuerdings von Siemens & Halske Glühzündvorrichtungen hergestellt worden, denen der Gedanke zu Grunde liegt, die Wirkungsweise der elektrodynamischen Maschine von der Kraft und Geschicklichkeit der Bedienenden gänzlich unabhängig zu machen, sodafs die Leistungen der Vorrichtung ein- für allemal dieselben sind.

Dies ist dadurch erreicht worden, daß die zur Leistung des elektrischen Stromes nötige Energiemenge beliebige Zeit vor der Sprengung durch Federkraft aufgespeichert,

im Augenblick der Sprengung durch den Druck auf einen Knopf ausgelöst wird und den Apparat in die nötige Drehung versetzt. Hiermit läßt sich dann auch leicht eine Vorrichtung verbinden, welche im Augenblick der größten Erregung der (Nebenschluß-) Dynamo, die äußere Leitung schließt, in welcher die Sprengpatronen liegen, sodafs auch in dieser Beziehung der Apparat von dem Erfassen des richtigen Augenblicks seitens des Sprengpersonals vollständig unabhängig ist.

Diese Vorrichtungen entzünden mit Sicherheit je nach ihrer Gröfse 5 bis 80 Glühzündpatronen bei einer Leitungslänge von 1200 m (600 m Hin- und 600 m Rückleitung).

Für bergmännische Zwecke, wo eine so grofse Leistung häufig nicht nötig ist, sind Vorrichtungen mit Kurbelantrieb gebaut worden, die so eingerichtet sind, dafs die Leitung erst eingeschaltet wird, wenn der Anker schon die nötige Geschwindigkeit, also der Strom die zur sicheren Zündung erforderliche Stärke hat. Die Einschaltung der Leitung erfolgt bei diesen Vorrichtungen selbstthätig bei der fünften Kurbeldrehung.

Die Kosten der Siemens & Halske'schen Minenzündvorrichtungen schwanken zwischen 32 M. (für 1 Glühzündpatrone) und 370 M. (für 80 Patronen). Ein Leitungsprüfer kostet 26 M.; 1000 Stück Glühzünder für Sprenggelatine 140 bis 265 M., für Dynamit und Roburit 164 bis 290 M., für Pulver 139 bis 238 M.; die Preise sind abhängig von der Länge des Zünders mit Leitung und der Gröfse der Ladung der Sprengkapsel.

Unter den Reibungs-Elektrisiermaschinen, die für Sprengzwecke hergestellt werden, sind die Maschinen des Mechanikers Bornhardt in Braunschweig zu nennen, die beim Tunnel- und Bergbau seit über 35 Jahren bis in die neueste Zeit vielfach in Gebrauch sind und sich gut bewährt haben. Sie werden zum Preise von 120 bis 170 M. geliefert.

Zur Verwendung für Dynamit müssen die elektrischen Zünder mit stärkerer Zündladung versehen sein, als für Pulver. Beim Laden der Bohrlöcher werden sie in gleicher Weise benutzt, wie die gewöhnliche Zündschnur.

Es ist sehr zweckmäfsig, die Zünder mit ihren Drähten an dünnen Holzstäben zu befestigen, um sie bequem in die Bohrlöcher einbringen zu können, und um beim Besetzen die Drähte nicht zu beschädigen oder zusammenzudrücken; die letzteren müssen so lang sein, dafs sie um einige Centimeter aus dem Bohrloche hervorragen. Da der elektrische Strom stets dem besten Leiter folgt, so ist in der Regel eine isolierende Umhüllung der Zünderdrähte nicht erforderlich; nur wenn saure Grubenwasser die Leitungsfähigkeit des Besatzes erhöhen, kann eine solche zweckmäfsig sein.

Zur gleichzeitigen Entzündung mehrerer Schüsse werden die Drähte der Zünder der einzelnen besetzten Bohrlöcher untereinander und mit den Hauptleitungsdrähten derartig verbunden, dafs das Ganze eine geschlossene Kette bildet, die nur noch durch den Zündmechanismus an der Maschine unterbrochen ist. Diese Verbindungen müssen mit Sorgfalt ausgeführt werden; es ist dabei namentlich darauf zu achten, dafs die zu verkuppelnden Drahtenden metallisch blank sind und fest aneinander liegen. Zu den Kuppeldrähten wird dünner, ausgeglühter Eisendraht verwandt; da wo dieselben auf dem Gestein aufliegen, legt man zweckmäfsig Glasstücke oder auch trockene Holzstückchen darunter. Zu den die Verbindung mit der Maschine herstellenden Hauptleitungen benutzt man am besten Telegraphenkabel.

Auf einen Übelstand der elektrischen Zündung soll noch aufmerksam gemacht werden, der bei unterirdischen Arbeiten unangenehm empfunden wird. Er besteht in dem ungünstigen Abzuge der Sprenggase. Während beim Abfeuern der Schüsse mittels Zündschnur der einzelne später zur Entladung kommende Schufs durch den von ihm

verursachten Luftdruck die Dämpfe des vorhergegangenen Schusses vor sich hertreibt, bringt die elektrische, gleichzeitige Entladung sämtlicher Schüsse eine ungleich geringere Bewegung der Dämpfe hervor, diese bleiben vielmehr ganz in der Nähe des Sprengortes und sind so dicht, daß es fast unmöglich ist, vor Ablauf von wenigstens zehn Minuten bis zum Sprengort vorzudringen.

**§ 16. Explosion und Detonation.** Den Abschnitt über Zündung können wir nicht schließen, ohne noch auf einige Eigentümlichkeiten aufmerksam zu machen, die zuerst von den französischen Chemikern Roux und Sarrau bei dem Explodieren verschiedener Sprengstoffe beobachtet worden sind, und die voraussichtlich noch eine bedeutende Rolle bei den Sprengarbeiten spielen werden. Roux und Sarrau fanden nämlich bei einigen Sprengstoffen, daß sie auf zwei verschiedene Arten zur Explosion gebracht werden können. Die eine Art der Explosion wird hervorgerufen durch einfache Anwendung von Hitze; die Genannten nennen sie Explosion zweiter Ordnung oder einfach „Explosion“; eine Explosion erster Ordnung, von denselben „Detonation“ genannt, tritt ein, wenn derselbe Sprengstoff durch Hitze unter verhältnismäßig starkem Druck zur Explosion gebracht wird.

Die Auffindung dieses Unterschiedes ist noch neu und wenn auch über dessen thatsächliches Vorhandensein ein Zweifel nicht besteht, so ist es doch noch nicht gelungen, das eigentliche Wesen desselben genügend aufzuklären und mit wissenschaftlicher Schärfe zu begründen. Die bezüglichen Untersuchungen dürfen daher noch keineswegs als abgeschlossen betrachtet werden, es sollen demnach hier nur kurz die Ergebnisse der bisherigen Versuche und Beobachtungen Erwähnung finden.

Bei der Explosion findet eine verhältnismäßig langsamere Entwicklung der Explosionsgase statt, indem die Verbrennung des Sprengstoffes von der Oberfläche der einzelnen Teile nach dem Inneren derselben immer einige Zeit in Anspruch nimmt, während bei der Detonation die Verbrennung des Körpers sehr plötzlich vor sich geht. Dementsprechend ist auch die Wirkung der Explosion mehr eine hebende, drückende, während die der Detonation eine zerschmetternde ist.

Wie verschieden diese Wirkungen sein können, zeigt wohl am besten ein Versuch mit Chlorstickstoff. Bringt man einige Gramm dieser Substanz auf einem Uhrglas in freier Luft zur Explosion, so ist diese so schwach, daß dadurch das Uhrglas kaum zerbrochen wird. Bedeckt man aber die gleiche Menge vor der Zündung mit einer dünnen Schicht Wasser, so wird nicht nur das Glas, sondern in vielen Fällen auch seine Unterlage zertrümmert. Im ersten Falle hat man die einfache Explosion, im zweiten die Detonation.

Ähnliches findet, wie bereits oben erwähnt, beim Knallquecksilber statt, in freier Luft verpufft es, d. h. es tritt eine Explosion ein, während die gleiche Menge, in eine Metallkapsel eingeschlossen, sehr heftig detoniert. Würde man Knallquecksilber nur in eine Papierhülse statt in eine Metallkapsel einschließen und zur Explosion bringen, so wäre die vierfache Menge nötig, um dieselbe Wirkung hervorzubringen.

Auch das Schwarzpulver, das bei seiner gewöhnlichen Verwendung einfach explodiert, kann zur Detonation gebracht werden und zwar durch Zündung mittels Knallquecksilber oder Nitroglycerin. Wird von diesem ein gewisser Prozentsatz dem gewöhnlichen Sprengpulver zugesetzt, so detoniert es bei Entzündung mittels Zündkapsel so heftig, daß die dabei entwickelte Gesamtwirkung bei weitem größer ist, als die Summe der Wirkungen beider Stoffe, wenn sie getrennt zur Explosion gebracht werden.

Dies ist der Grund für die bedeutende Wirkungsfähigkeit des „Coloniapulvers“, das aus einer Mischung von Schwarzpulver und Nitroglycerin besteht. Dieser Sprengstoff wird leider jetzt nicht mehr fabriziert, nachdem im Jahre 1870 eine nicht aufgeklärte, furchtbare Explosion bei der Herstellung desselben stattgefunden hat, wobei 15 Menschen das Leben verloren.

Aus Vorstehendem ergibt sich, daß die Detonation des Pulvers durch innige Berührung mit anderen Sprengstoffen von kräftigerer Wirkung herbeigeführt wurde. Solche Stoffe, durch deren Beimengung andere Sprengstoffe, die unter gewöhnlichen Umständen nur einfach explodieren, zur Detonation gebracht werden, nennt man nach Roux und Sarrau „Detonatoren“.

Dynamit wird durch starke, mit Knallquecksilber gefüllte Zündkapseln zur Detonation gebracht und zwar ist die Zündpatrone imstande, diese Detonation der ganzen Ladung mitzuteilen, wenn sie fest in das Bohrloch eingepreßt ist. Ist dies nicht der Fall, so kann eine teilweise Detonation und teilweise Explosion eintreten; der Sprengstoff kommt dann also nicht zur günstigsten Wirkung. Es scheint überhaupt ein unbedingtes Erfordernis der Detonation die innigste Berührung der Sprengstoffe und die gepreßte Einschließung derselben zwischen festen Wänden zu sein.

In Bezug auf die Explosions- und Detonationswirkung des Dynamits haben Roux und Sarrau Versuche mit gußeisernen Bomben von gleichen Abmessungen gemacht. Es reichten 4 g Dynamit hin, um die Bomben zu sprengen, wenn dieses detonierte, dagegen waren 16 g Dynamit hierzu erforderlich, wenn es einfach explodierte. Bei einem anderen Versuche wurden 2 g Dynamit lose in die Bombe hineingelegt und eine mit einem Detonator versehene Zündkapsel von gleichfalls 2 g Ladung hinzugefügt; bei der Explosion wurde die Bombe nicht zerstört, erst bei 6 g loser Ladung und der gleichen Menge in einer Zündkapsel eingeschlossenen Knallquecksilbers wurde dies erreicht. Es ist das ein Zeichen, daß die Zündkapsel in diesem Falle nicht als Detonator wirkte, sondern daß das Dynamit einfach explodierte.

Zur Vergleichung der Explosions- und Detonationswirkung verschiedener Sprengstoffe geben wir die folgende Zusammenstellung, in der die Explosionswirkung des gewöhnlichen Schwarzpulvers = 1 gesetzt ist:

Sprengstoff	Verhältniszahlen für die Sprengwirkung	
	Bei einfacher Explosion	Bei Detonation
Knallquecksilber . . . . .	—	9,28
Schwarzpulver . . . . .	1,00	4,34
Nitroglycerin . . . . .	4,80	10,13
Schiefwolle . . . . .	3,00	6,46

Die Tabelle zeigt, von welcher hohen Bedeutung diese verschiedenen Arten der Explosion für die Praxis sind, wie besonders die Wirkung des Schwarzpulvers durch wirkliche Detonation ganz außerordentlich gesteigert werden kann. Es sind hierdurch vielleicht auch die großen Abweichungen in den Angaben der Wirkung des Schwarzpulvers zu erklären, da es doch wohl denkbar ist, daß bei den Versuchen durch ein Zusammentreffen verschiedener Umstände in einigen Fällen das Pulver explodierte, in anderen ganz oder teilweise detonierte.

**§ 17. Das Laden, Besetzen und Abfeuern der Bohrlöcher bei Anwendung von Pulver.** Ist ein Bohrloch bis auf die beabsichtigte Tiefe hergestellt, so erfolgt dessen Ladung. Bei nach unten gerichteten Löchern und bei Anwendung von Pulver geschieht dies häufig durch unmittelbares Hineinschütten des Pulvers. In diesem Falle

ist es notwendig, daß das Loch vorher gut ausgetrocknet wird, wozu man sich in der Regel des umgekehrten Krätzers bedient, in dessen umgebogenes Ende Werg, Heu und dergl. eingezogen wird. Man kann das Austrocknen aber auch einfach und rasch dadurch bewirken, daß man eine kleine Dynamitpatrone auf dem Boden des Bohrloches ohne Besatz explodieren läßt, wobei die Hitze der Explosionsgase das Loch trocken macht. Wendet man hierzu größere Patronen an, so hat dieses Verfahren noch den Vorteil, daß durch die heftige Explosion unten im Bohrloch eine Ausweitung gebildet wird, welche größere Pulvermassen aufnehmen und damit infolge der mehr konzentrierten Ladung, namentlich bei tieferen Löchern, die Sprengwirkung erheblich verstärken kann.

Ist das Gebirge sehr nafs und das Bohrloch dem unmittelbaren Eintritt des Wassers ausgesetzt, so ist eine Dichtung der Bohrlochwände notwendig. Zu diesem Zweck füllt man das Loch mit Thon oder Lehm an und preßt letztere durch Einschieben einer eisernen Stange (des sogenannten „Lettenbohrers“), deren Stärke nur wenig geringer ist, als die Bohrlochweite, fest an die Bohrlochwand an, oder in die etwaigen Klüfte des Loches.

Das Einbringen der Pulverladung erfolgt in folgender Weise: Zunächst wird nur die Hälfte der erforderlichen Menge in das Loch eingeschüttet, darauf wird die Zündschnur mit ihrem schräg abgeschnittenen und in einem rechten Winkel knapp umgebogenen Ende in das Loch bis auf die Ladung eingesenkt; alsdann geschieht die Einfüllung des Restes der Pulverladung, sodafs die Zündschnur mitten in der Pulvermasse endigt und somit auch die Zündung in der Mitte der Pulvermasse beginnt. Es hat dies den Vorzug, daß die Zündung sich rascher über die ganze Ladung verteilt; während bei Zündung am Boden des Loches unverbranntes Pulver mit hinausgeschleudert werden, dagegen bei der Zündung am oberen Ende der Ladung ein Teil des Pulvers unverbrannt bleiben kann.

Das Einschütten des losen Pulvers in die Bohrlöcher ist immer mit einer gewissen Gefahr verbunden. Es wird dabei leicht Pulver verschüttet, anderes bleibt an der Bohrwandung kleben, sodafs bei den in unterirdischen Räumen notwendigen Arbeiten mit offenem Licht leicht eine vorzeitige Entzündung entstehen kann. Aus diesem Grunde ist in Preußen für den Bergbau das Sprengen mit losem Pulver verboten. Bei nach oben gerichteten Löchern ist das Einschütten ohnehin nicht möglich. Es ist daher üblich, das Pulver in Form von Patronen zu verwenden, d. h. vor dem Einbringen in Papierhülsen zu füllen. Für den Fall der Anwendung in nassen Löchern werden die Hülsen mit Pech, Talg u. s. w. bestrichen, oder auch aus Leder, selbst aus Guttapercha hergestellt.

Nach sorgfältiger Einbringung des Zünders wird die Patrone verschlossen bezw. mit einer Schnur zugebunden, und dadurch zugleich der Zünder in der Patrone befestigt. Bezüglich der zu den Ladungen erforderlichen Pulvermenge vergl. § 22.

Zum „Abdämmen“ oder zum „Besetzen“ des Pulvers wurden in der ersten Zeit Holzpflocke benutzt, die in das Loch bis auf das Pulver fest eingetrieben wurden und zur Bildung eines Zündkanals an der Seite eingeschlizt waren. Ende des 17. Jahrhunderts ging man bei Besetzen des Bohrloches zu der Anwendung von Thon oder Lehm über und ist dieser „Besatz“ noch heute üblich. Dabei wird zunächst auf die Pulvermasse ein sogenannter Schiefspfropfen aus Papier, Heu oder dergl. aufgeschoben, dann wird zerschlagene Gesteinsmasse, Sand oder eine ähnliche lose Masse aufgeschüttet und leicht mit dem aus festem Holz bestehenden Ladestock (eiserne Ladestöcke sind wegen des möglichen Feuerreißens unbedingt zu verwerfen) aufgedrückt, schließ-

wird der eigentliche Besatz, in der Hand geformte Thonkugeln oder Thoneylinder, eingeschoben und festgestampft, bis das Loch gefüllt ist.

Bei dem Besetzen ist sorgfältig darauf acht zu geben, daß die an die Wandung des Loches zu drückende Zündschnur nicht leidet. Die Länge der Zündschnur wird so bemessen, daß sie aus dem Loche um einige Decimeter herausragt, und unter allen Umständen lang genug ist, um beim Abschiesfen des Loches dem mit der Zündung betrauten Arbeiter Zeit genug zu lassen, sich vor der Explosion in eine gesicherte Stellung zurückzuziehen.

Es wird auffallend erscheinen, daß der beschriebene, im Vergleich zu dem festen zu zersprengenden Gestein lose zu nennende Besatz imstande ist, das Entweichen der Pulverkraft durch das Bohrloch zu verhindern, ja sogar fast die ganze Schufskraft auf die Zertrümmerung des Gesteins zu vereinigen. Zur Erklärung dieser Erscheinung mag folgende Betrachtung dienen:

Die Kraftentwicklung des explodierenden Pulvers nimmt nur eine sehr geringe Zeit in Anspruch. Zu jeder, auch der geringsten Arbeitsleistung ist aber eine gewisse Zeit erforderlich. Ferner wirkt die Kraft der Pulvergase nach allen Seiten hin gleich, sowohl in der Richtung des Bohrloches auf den Besatz, als auch nach allen übrigen Richtungen auf das Gestein. Es wird nun zwar der untere Teil des Besatzes nach oben gedrängt; um jedoch die ganze Masse des letzteren bei ihrer dehnbaren Beschaffenheit bis zur wirklichen Fortbewegung zusammenzupressen, würde mehr Zeit erforderlich sein, als zur Zertrümmerung des unnachgiebigen Gesteins.

Es geht hieraus hervor, wie wichtig für die Erzielung voller Wirkung einmal die hinreichende Länge des Besatzes und ferner dessen dehnbare Beschaffenheit ist. Wenn etwa bei wenig tiefen Bohrlöchern der Besatz im Vergleich zur Bohrlochlänge bezw. zur Pulverladung zu kurz ist, oder wenn der Besatz ungeschickt ausgeführt, d. h. gleich von vornherein fest auf das Pulver aufgesetzt und von unten bis oben fest gestampft wird, sodafs der Druck auf den Besatz sich rasch darin fortpflanzen kann, so kann in der That der Fall eintreten, daß der Besatz herausgeschleudert und der Zweck verfehlt wird.

Um dies sicherer zu vermeiden, bildet man geeignetenfalls beim Besetzen eines Loches einen Hohlraum über dem Pulver, man „ladet hohl“, indem man den Schufspfpfen nicht bis dicht auf die Ladung einschiebt, sondern einen Raum darüber frei läßt. Es muß in solchem Falle bei der Explosion zunächst die Luft über der Ladung zusammengeprefst werden, ehe sie den Druck auf den weiteren Besatz übertragen kann. In gleichem Sinne wirkt die Luft allein als hinreichender Besatz für Dynamitladung, s. den folgenden Paragraph.

Das Hohlladen hat hier dieselbe Wirkung, wie in unliebsamer Weise beim schlechten Laden eines Gewehrs. Der Lauf einer Jagdfinte kann bekanntlich dadurch leicht zum Zerspringen gebracht werden, daß über der Ladung ein größerer Hohlraum bleibt, indem der Pfpfen nicht auf das Pulver aufgesetzt, oder ein zweiter Pfpfen oben in das Rohr fest eingeschoben wird.

Bei Anwendung von elektrischer Zündung wird statt der Schnur der elektrische Zünder in gleicher Weise in die Ladung eingeführt. Der Besatz des Loches bleibt dabei derselbe.

**§ 18. Das Laden und Besetzen der Bohrlöcher bei Anwendung von Guhrdynamit, Sprenggelatine und Gelatinedynamit** geschieht in ähnlicher Weise wie bei Pulver, nur braucht man das Bohrloch nicht auszutrocknen, weil die Dynamite

gegen Wasser unempfindlich sind. Es wird eine Patrone nach der anderen in das Loch hineingeschoben und mit einem hölzernen Ladestock festgedrückt, sodass das Dynamit das Bohrloch vollständig ausfüllt. Bei weichen Patronen (wie sie im

Fig. 13.



Tunnelbau fast ausschließlich verwandt werden, weil im Tunnel selbst meistens eine Temperatur von  $8^{\circ}$  ist, und der Tagesbedarf gewöhnlich im Tunnel aufbewahrt wird) ist dies Verfahren leicht und ohne Gefahr ausführbar; anders bei gefrorenen harten Patronen. Diese dürfen, wenn deren ausnahmsweise Verwendung nicht zu vermeiden ist, nur leicht in das Bohrloch eingesetzt, und keinesfalls stark gestossen oder geprefst werden, weil dadurch, wie die Erfahrung lehrt, Explosionen erfolgen können; häufige Unglücksfälle beweisen, dass diese Vorsicht nicht außer acht gelassen werden darf. Diejenige Patrone, die den Zünder enthält, nennt man die „Zündpatrone“. Sie wird auf die übrigen Patronen lose aufgesetzt (Fig. 13); man verwendet dazu kleinere Patronen, die aber stets weich sein müssen. In die geöffnete Zündpatrone wird die mit der Züandschnur versehene Zündkapsel oder der elektrische Zünder hineingedrückt, und zwar so tief, dass der obere Rand der Kapsel noch aus dem Dynamit hervorragt, damit die Züandschnur nicht mit dem Dynamit in unmittelbare Berührung kommen kann. Denn wäre dies der Fall, so könnte beim Zünder das Dynamit vor der Explosion der Zündmasse leicht in Brand geraten, dann aber

würde höchstens ein Teil des Sprengstoffes zur Explosion kommen, mithin der Schufs mehr oder weniger verloren sein.

Die Befestigung der Züandschnur in der Patrone geschieht, wie bei der Pulverpatrone, durch Umwicklung mit Bindfaden.

Stehen die Schüsse im Wasser, so ist auch hier die Guttapercha-Züandschnur anzuwenden, und die Verbindungsstelle der Kapsel mit ihr durch Talg oder Fett vor dem Eindringen des Wassers zu schützen.

Der Besatz des Loches wird ähnlich wie beim Pulver hergestellt, doch ist hier ein Festdrücken desselben kaum erforderlich, weil die Entwicklung der Explosionsgase eine so heftige ist, dass ohnehin keine Zeit bleibt, den Besatz aus dem Loche heraus-

zuwerfen. Bei nassen Bohrlöchern genügt schon der durch das Wasser selbst gebildete Besatz. Sogar die Luft kann den Zweck des Besatzes erfüllen, sodass ein solcher überhaupt fast entbehrlich erscheint. Damit beim Einbringen und Festdrücken des Besatzes die aus der Mitte der Zündpatrone heraus-



tretende Züandschnur nicht aus der Zündkapsel herausgedrückt werden kann, ist die Verwendung von Besatzpatronen zu empfehlen, die bei der Gotthardbahn eingeführt wurden und sich dort gut bewährt haben. Die Besatzpatrone besteht aus einer Papierhülse, in die die Zündpatrone eingelassen und darauf mit Sand gefüllt wird. Beim Einfüllen des Sandes drückt man die Züandschnur oben an die Wand der Hülse an, in welcher Lage sie durch Umwicklung festgehalten wird (Fig. 14).

**§ 19. Vorsichtsmaßregeln bei der Ausführung der Sprengarbeit.** Was die Sicherheitsmaßregeln bei der Ausführung der Sprengarbeit anlangt, so ist zu empfehlen, nach Einvernehmen mit der Polizeibehörde genaue Vorschriften darüber von seiten der Bauverwaltung zu erlassen und sie den Arbeitern in geeigneter Weise bekannt zu machen, sowie auch für strenge Durchführung Sorge zu tragen.

Das Laden und Zünden der Schüsse soll immer nur von durchaus zuverlässigen gewandten Leuten geschehen, die damit besonders zu beauftragen sind. Sie sind für alle Vorkommnisse verantwortlich zu machen. Das Zünden der Schüsse darf erst dann geschehen, wenn alle in der Nähe beschäftigten Arbeiter, vorher durch ein mehrfaches Signal gewarnt, sich in genügende Entfernung oder in gesicherte Stellungen zurückgezogen haben.

In den meisten Fällen werden nicht einzelne Schüsse, sondern Gruppen von Schüssen zusammen entzündet, wobei die Länge der Zündschnüre verschieden groß gewählt wird, sodass der mit dem Zünden betraute Häuer Zeit behält, jene nacheinander zu zünden, und die Explosion der Gruppe somit möglichst gleichzeitig erfolgt. Der betreffende Häuer muss genau auf die Zahl der Schüsse achtgeben, und darf nur dann sofort nach dem Abschiesfen mit den übrigen Arbeitern auf die Schufsstelle zurückkehren, wenn er durch genaues Zählen die Überzeugung gewonnen hat, dass alle von ihm angezündeten Schüsse auch wirklich abgeschossen sind. Ist er darüber nicht ganz sicher, was leicht infolge gleichzeitiger Explosion mehrerer Bohrlöcher der Fall sein kann, so muss aufs Strengste darauf gehalten werden, dass mindestens zehn Minuten lang nach dem letzten Schusse gewartet wird, ehe die Arbeiter an die Schufsstelle zurückkehren. Diese Vorsicht ist nötig, da es bisweilen vorkommt, dass der Pulverfaden in der Zündschnur auf kleinere Längen unterbrochen ist, und doch durch das Weiterglimmen der Schnur selbst auf langsamerem Wege das weitere Pulver in der Schnur entzündet werden und dadurch noch nach längerer Zeit die Explosion der Ladung erfolgen kann. Viele Unglücksfälle, die bei der Sprengarbeit vorkommen, sind Folgen der Nichtbeachtung dieser Vorsichtsmaßregel, es kann daher nicht streng genug auf ihre Beachtung seitens der Arbeiter gehalten werden. — Bei Anwendung elektrischer Zündung fällt diese Gefahr fort, da eine spätere Zündung, in ähnlicher Weise wie oben, durch den elektrischen Zünder nicht erfolgen kann.

Eine weitere große Gefahr bieten die nicht explodierten oder „sitzen gebliebenen“ Schüsse und zwar namentlich dadurch, dass für die Häuer die Versuchung groß ist, die Bohrarbeit und die Ladung nicht aufzugeben und sie daher nur zu gern den Besatz aus dem Loche wieder herauskratzen, um es von neuem besetzen zu können. Dies Verfahren ist stets mit großer Gefahr verbunden, namentlich dann, wenn die Ladung aus Dynamit besteht, und muss unter allen Umständen aufs Strengste verboten und bestraft werden. Solche „sitzen gebliebene“ Schüsse können in den meisten Fällen durch neue Patronen, die man oben auf den Besatz einfach aufsetzt und entzündet, zur Explosion gebracht werden. Falls dies Verfahren ausnahmsweise ohne Erfolg bleibt, dürfen derartige Schüsse nicht anders als durch neue Bohrlöcher beseitigt werden, die so anzusetzen sind, dass unter keinen Umständen die Ladung des alten Schusses durch das Bohren des neuen Loches zur Entladung gebracht werden kann.

Ist bei einem Bohrloche nach der Explosion der untere Teil des Bohrloches sitzen geblieben, was bei festem Felsen leicht vorkommt, so darf man diese „Büchse“ oder „Pfeife“ bei Anwendung von Dynamit nicht zum Ansetzen eines neuen Bohrloches benutzen, weil bisweilen unten in dem Boden des Loches nicht explodierte Dynamitpatronen stecken bleiben, die beim Ausbohren explodieren können. —

Von der Königl. Regierung in Koblenz sind folgende Bestimmungen über die Anwendung derartiger Sprengstoffe erlassen:

9. „Bei der Anwendung der Sprengstoffe, welche Sprengöl enthalten, ist nachfolgende Gebrauchs-anweisung auf das Sorgfältigste zu beachten.

**Zündpatronen.** Die 2 bis 3 cm langen Patronen sind Zündpatronen, worin der Zünder zu befestigen ist.

**Hütchen und Zündschnur.** Werden hierzu Zündhütchen und Zündschnur verwendet, so wird das eine Ende der Zündschnur glatt abgeschnitten und in ein Zündhütchen bis an den Knallsatz eingeschoben. Der obere Teil des Hütchens wird alsdann mit einer Zange an die Zündschnur angekniffen.

**Einsetzen des Hütchens.** Der obere Teil des mit Zündschnur versehenen Hütchens wird bis nahe an den Rand in das geöffnete Ende einer Zündpatrone eingeschoben, worauf die Zündschnur mit einem Bindfaden fest an die Patrone gebunden wird, damit das Zündhütchen beim Laden nicht aus der Patrone herausgezogen wird.

**Sprengpatronen.** Die längeren Patronen sind Sprengpatronen. Bei Verwendung von Sprengelatine darf in diese langen Patronen das Zündhütchen niemals eingesetzt werden.

**Das Laden.** Man nimmt soviel lange Patronen oder Teile derselben, als für die richtige Ladung notwendig sind, schiebt sie einzeln in das Bohrloch und drückt eine jede Patrone mit einem hölzernen Ladestock vorsichtig so nieder, daß unter und neben den Patronen möglichst wenig freier Raum bleibt. Ist die richtige Ladehöhe erreicht, so wird die mit Zündhütchen und Zündschnur versehene Zündpatrone bis auf die Ladung nur geschoben, nicht angepreßt. Es ist vorteilhaft, Besatz von Bohrmehl, Sand, Letten oder Wasser anzuwenden, weil dadurch die Wirkung erhöht wird. Bei Wasserbesatz ist das Zündhütchen mit Talg, Wachs oder dergl. zu dichten.

**Explosionsgase.** Wenn über schlechte Explosionsgase geklagt wird, so liegt die Ursache in unrichtiger Behandlung, meist an einem der folgenden Punkte:

- a) Nichtanwendung der Zündpatronen,
- b) zu schwachen oder feucht gewordenen Zündhütchen,
- c) schlechte Befestigung der Kapsel an der Zündschnur oder schlechtes Einsetzen der Kapsel in die Zündpatrone,
- d) Anwendung ganz oder halb gefrorener Zünd- oder Sprengelatine-Patronen.“

Außerdem ist noch folgendes zu beachten:

10. „Das Abthun versagter Schüsse muß wegen der damit verbundenen Gefahr gänzlich unterbleiben und die Herstellung neuer Bohrlöcher erfolgen.

Wenn nach erfolgter Explosion eine Pfeife stehen geblieben ist, so muß jedesmal mit einem hölzernen Instrument vorsichtig untersucht werden, ob und wo sich in der Pfeife noch Sprengstoffe befinden. Dieser Rückstand darf niemals durch Bohren entfernt werden, es muß vielmehr, falls eine neue Zündpatrone nicht mehr eingebracht werden kann, ein ganz neues Bohrloch hergestellt werden.“

11. „Bei dem Ansetzen von Bohrlöchern in der Nähe derartiger Pfeifen muß erstere eine solche Richtung gegeben werden, daß sie mit letzteren nicht in Berührung kommen.“

12. „Da Dynamit bei Berührung mit Wasser sein Sprengöl sehr bald verliert, so muß beim Besetzen nasser Bohrlöcher oder bei Anwendung von Wasserbesatz jede Beschädigung der Patronenhülle sorgfältig vermieden, der Schufs nach dem Laden aber sogleich weggethan werden. Für solche Bohrlöcher ist die Ladung mit Sprengelatine oder Gelatinedynamit, welche im Wasser kein Sprengöl abgeben, vorzuziehen.“

Im Verwaltungsbezirk der ehemaligen Königl. Eisenbahndirektion (rechtsrheinisch) in Köln galten nachstehende Bestimmungen für die Ausführung von Sprengarbeiten:

#### Vorschriften über das Verfahren bei Felsprengungen.

§ 1. Transport und Lagerung der Sprengmaterialien. Für den Transport und die Lagerung der Sprengmaterialien gelten die von der Landespolizeibehörde erlassenen Bestimmungen.

§ 2. Sprengpulver, Dynamit, Sprengelatine. Als Sprengstoffe dürfen nur das gewöhnliche, aus Holzkohle, Schwefel und Salpeter zusammengesetzte Sprengpulver, das aus Nitroglycerin und Kieselguhr bestehende Dynamit und die aus Nitroglycerin und Kollodiumwolle bestehende Sprengelatine gebraucht werden. Will der Unternehmer noch andere Sprengstoffe benutzen, so hat derselbe dazu zunächst die Genehmigung der Königlichen Direktion einzuholen.

§ 3. Schießmeister. Für jede einzelne Arbeitsstelle, an welcher Sprengungen vorgenommen werden sollen, ist von dem Unternehmer ein mit der Schießarbeit durchaus vertrauter Schlachtmeister

oder Vorarbeiter als Schiefsmeister anzustellen, der die sämtlichen mit dem Transport, der Aufbewahrung und Verwendung des Sprengmaterials verbundenen Manipulationen leitet.

Laden und Anzünden. Für das Laden und Anzünden der Sprengschüsse sind diesem Schiefsmeister bestimmte zuverlässige Arbeiter als Gehilfen beizugeben. Das Anzünden der Zündschnüre erfolgt auf Kommando des Schiefsmeisters, welcher letzteres nicht eher geben darf, als bis er sich von der vollständigen Schufsfertigkeit seiner Gehilfen überzeugt hat. Der Schiefsmeister sowohl als dessen Gehilfen sind der Bauverwaltung mit Namen zu bezeichnen.

§ 4. Verbot der Abgabe von Sprengstoffen. Außer den im vorigen Paragraph bezeichneten Leuten darf keine andere Person irgendwie mit der Schiefsarbeit betraut werden. Das Abgeben von Sprengmaterial an andere als die im § 3 genannten Personen ist streng untersagt.

§ 5. Schiefsnadeln, Ladestöcke, Krätzer. Der Gebrauch von eisernen Schiefsnadeln (Raumnadeln) und Ladestöcken ist untersagt; die Ladestöcke dürfen nur von Holz, die Schiefsnadeln nur von Kupfer hergestellt werden. Die Krätzer müssen ganz oder wenigstens am unteren Ende auf die Länge von  $\frac{1}{2}$  m von Kupfer sein. Das Laden mittels Krätzer ist streng untersagt.

§ 6. Zündschnüre. Die Zündschnüre, mittels deren Schüsse zur Explosion gebracht werden, sind so lang zu wählen, daß die Leute, welche das Anzünden besorgen, dies ohne Übereilung bewirken und sich danach aus dem zur Zeit der Sprengung abgesperrten Bezirk (§ 16) zurückziehen können.

§ 7. Zündpatronen. Bei der Anwendung von Dynamit sind zu den sogenannten Zünd- oder Schlagpatronen nur weiche, niemals gefrorene Patronen zu verwenden. Diese Zündpatronen sind erst unmittelbar vor dem Laden herzustellen, indem man die mit Zündhütchen versehene Zündschnur in die Patrone eindrückt und mit derselben verbindet. Das Aufbewahren von mit Zündschnur und Zündkapsel versehenen Zündpatronen ist verboten; es sind daher stets nur soviel Zündpatronen fertig zu stellen, als für die jedesmalige Sprengung nötig sind. Die bei einer Sprengung etwa übrig bleibenden Zündpatronen sind an einem geschützten Orte zur Explosion zu bringen.

§ 8. Besatz. Als Besatzmaterial für die mit Pulver geladenen Schüsse sind nur Lettennudeln oder milde Gesteinsarten, die keine Funken reißen, zu benutzen. Das Besetzen der mit Dynamit oder Sprenggelatine geladenen Bohrlöcher ist nicht erforderlich; nach den Erfahrungen bei der Gotthard-Bahn trägt jedoch der Besatz auch bei diesen wesentlich zur Erhöhung der Schufswirkung bei, und es sind loser Sand, Wasser, sowie Sandpatronen als Besatz zu empfehlen, wobei es rätlich ist, auf die Zündpatrone einen Papierpfropfen zu laden, wenn der Sand lose eingeführt wird.

§ 9. Sitzen gebliebene Schüsse. Der Schiefsmeister ist verpflichtet, vor jeder Sprengung die geladenen Schüsse zu zählen und beim Sprengen zu beobachten, ob alle Schüsse losgehen. Ist ein Schuß sitzen geblieben oder nicht ganz ausgebrannt, so ist derselbe, bevor mit der Arbeit wieder begonnen wird, zur Explosion zu bringen (s. § 10). Jeder Arbeiter, der einen sitzen gebliebenen oder nicht ganz ausgebrannten Schuß findet, ist verpflichtet, dies sofort dem Schiefsmeister anzuzeigen, der das Nötige zu veranlassen hat.

§ 10. Kennzeichnung sitzen gebliebener Schüsse. Sitzen gebliebene Schüsse dürfen in keinem Falle ausgebohrt werden.<sup>16)</sup> Ebenso ist es verboten, ein zum Teil stehen gebliebenes Bohrloch (sogenannte Büchse) zur Herstellung eines neuen Bohrloches zu benutzen. Sollte es nicht gelingen, den Sprengschuß zur Explosion zu bringen, so ist derselbe durch ein in das Bohrloch zu setzendes rotes Fähnchen zu kennzeichnen und ein neues Bohrloch in einer Entfernung von wenigstens 30 cm vom ersten Bohrloch herzustellen, mittels dessen der alte Schuß wegzuschiefen ist.<sup>17)</sup>

<sup>16)</sup> Nach Versuchen, die von der Bauverwaltung im Juni 1879 auf der Bau-Abteilung Barmen angestellt wurden, können zurückgebliebene Schüsse mit den gewöhnlich angewandten Besatzstärken von 15 bis 24 cm fast mit voller Sicherheit durch eine gewöhnliche Dynamit-Zündpatrone (gleich  $\frac{1}{3}$  der gewöhnlichen, 11 cm langen Patrone) ohne Aufräumung des Besatzes durch einfaches Aufsetzen einer solchen Zündpatrone zur Explosion gebracht werden. Würde man diese Zündpatrone etwas stärker nehmen, also vielleicht von der halben Länge der gewöhnlichen Patrone, so dürfte der Erfolg ganz sicher sein für die gewöhnlichen Fälle. Für außergewöhnliche Fälle, wo ein Besatz von über 25 cm vorkommt, ist durch eine Verstärkung der auf den Besatz des sitzen gebliebenen Schusses aufzusetzenden Zündpatrone sicherer Erfolg ebenfalls zu erwarten. Es wird wohl in allen Fällen durch Verwendung einer ganzen, 11 cm langen Patrone als Zündpatrone gelingen, den zurückgebliebenen Schuß unter dem unausgeräumten Besatz zur Explosion zu bringen.

<sup>17)</sup> Nach Erfahrungen im Gotthard-Tunnel wird im Augenblicke der Explosion bei Kieselguhrdynamit das Nitroglycerin herausgepreßt und zerklüftetes Gestein dadurch leicht infiltriert. Beim Anbohren solcher mit Sprengöl durchtränkten Nester entstehen leicht unerwartete Explosionen, sodafs es sich empfiehlt, neue Bohrlöcher möglichst entfernt von alten herzustellen.

§ 11. Erweichen gefrorener Dynamitpatronen. Die infolge niedriger Temperatur (unter 6° C.) erstarrten Dynamitpatronen sind in besonderen, von dem Unternehmer in genügender Anzahl und Größe vorzuhaltenden Wärmeapparaten zu erweichen; auch ist es gestattet, die Patronen in Pferdedünger zu erwärmen. Die Temperatur in den Wärmeapparaten bzw. in dem Pferdedünger darf aber nie höher als 50° C. sein. Jede andere Methode der Erweichung des erstarrten Dynamits ist verboten; namentlich ist es verboten, die Patronen in der Tasche, auf oder neben warmen Öfen oder heißen Platten, in der Nähe von Feuer, in heißer Asche, in ungelöschtem Kalk oder durch Eintauchen in warmes Wasser zu erwärmen.

§ 12. Einsetzen der Dynamitpatronen. Bei einer Lufttemperatur unter 6° C. dürfen die Dynamitpatronen in das Bohrloch nicht fest eingedrückt werden; die Patronen sind vielmehr lose aufeinander zu setzen.

§ 13. Thermometer. An jeder Arbeitsstelle, wo Sprengungen vorgenommen werden, muß wenigstens ein gutes 100 teiliges Thermometer (nach Celsius) seitens des Unternehmers vorgehalten werden.

§ 14. Schiefszeiten. Das Schiefsen auf der ganzen Strecke darf höchstens viermal des Tages stattfinden, und zwar morgens 9 Uhr, mittags 12 Uhr, nachmittags 4 Uhr und abends beim Schlusse oder morgens beim Beginn der Arbeit.

§ 15. Signalflaggen. Bei den Felssprengungen auf der offenen Strecke ist der Unternehmer verpflichtet, vor dem Anzünden der Zündschnüre, die zum Abbrennen der Schüsse angebracht sind, durch weithin sichtbare große Signalflaggen von gelber Farbe den Zeitpunkt des Sprengens anzuzeigen. Diese Signalflaggen sind so aufzustellen, daß sie von den sich dem Orte der Sprengung etwa nähernden Personen leicht zu bemerken sind.

Bezüglich der einzelnen Orte, wo diese Signalflaggen anzubringen sind, hat der Unternehmer die etwaigen Anordnungen der bauleitenden Beamten zu befolgen.

§ 16. Absperrung. Vom Zeitpunkte, wo die Signalflaggen aufgestellt werden, bis zu der im § 19 festgesetzten Zeit ist der Bezirk, in welchem die Sprengungen stattfinden, vollständig abzusperren. Die Absperrung erfolgt dadurch, daß auf allen in der Nähe der Sprengstelle befindlichen Wegen und sonstigen geeigneten Punkten bestimmte, aus den Arbeitern auszuwählende Leute mit großen gelben Flaggen in solcher Entfernung von dem Sprengungsorte aufgestellt werden, daß sie von Sprengstücken nicht mehr erreicht werden können.

Diese Leute haben die Verpflichtung, die sich der Sprengstelle nähernden Personen auf die Gefahr aufmerksam zu machen und von dem Weitergehen abzuhalten; ebenso sind sie verpflichtet, dafür zu sorgen, daß die übrigen Arbeiter nach dem gegebenen Signal (§ 17) sich aus dem abgesperrten Bezirke entfernen.

§ 17. Entfernen der Arbeiter. Nachdem die Absperrung in dieser Weise erfolgt und innerhalb der abgesperrten Strecke fremde Personen sich nicht mehr befinden, wird durch ein lautes zweimaliges Horn- oder Glockensignal ein Zeichen gegeben, worauf sich die in dem Schachte beschäftigten Arbeiter zu entfernen und außerhalb des nach § 16 abgesperrten Bezirks zu begeben haben.

§ 18. Lösung der Schüsse. Nachdem letzteres geschehen und jeder der Leute mit Signalfolge sich überzeugt hat, daß der abgesperrte Bezirk frei ist, wird durch dreimaliges Horn- oder Glockensignal das Zeichen gegeben, daß der Zeitpunkt des Schiefsens gekommen ist, und darf erst dann die Lösung der Schüsse erfolgen.

§ 19. Annäherung der Arbeiter nach dem Schiefsen. Die Annäherung der Arbeiter an die Sprengstelle darf erst erfolgen, nachdem durch ein einmaliges Horn- oder Glockensignal angekündigt ist, daß alle Schüsse losgebrannt sind, und nachdem die Signalflaggen entfernt sind. Sollte der Posten, der das Signal zu geben hat, im Zweifel sein, ob alle Schüsse losgegangen sind, so darf die Annäherung erst zehn Minuten nach dem Anzünden der Zündschnur geschehen.

§ 20. Decken der Schüsse. In der Nähe von Häusern, Wegen oder sonstigen durch die Sprengstücke leicht zu verletzenden Gegenständen müssen die Schüsse nach näherer Vorschrift „gedeckt“ und so klein angesetzt werden, daß die Stücke nicht umherfliegen.

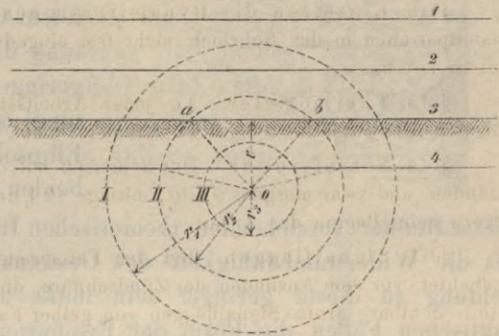
§ 21. Sprengungen in Tunneln. Für die Sprengungen in Tunneln bzw. in Stollen finden die Bestimmungen der §§ 15 bis einschließlich 20 keine Anwendung.

§ 22. Strafbestimmungen. Zuwiderhandlungen gegen diese Vorschriften werden mit einer Geldstrafe bis zu 30 M. oder mit sofortiger Entlassung des Schuldigen bestraft, sofern nicht eine höhere Strafe nach den Bestimmungen des Strafgesetzbuches verwirkt ist.“

c) Allgemeines über die Ausführung der Sprengarbeit.

§ 20. Sprengwirkung im allgemeinen. Denkt man sich im Innern einer dichten, nach allen Richtungen gleich widerstandsfähigen Gesteinsmasse eine Sprengwirkung von einem Punkt  $o$  (s. Fig. 15) ausgehend (also die gesamte Ladung in diesem Punkte eingeschlossen), so werden die Erschütterungswellen sich strahlenförmig nach allen Richtungen, also in der Gestalt konzentrischer Kugelflächen fortsetzen und gleichmäÙig abnehmen. Nur bis zu irgend einer Entfernung  $r_1$  vom Ausgangspunkte wird hierbei die Elastizitätsgrenze des Gesteins überschritten, also eine bleibende Veränderung desselben bewirkt werden. Diese Veränderung wird jedoch nur innerhalb einer kleineren Entfernung  $r_2$  so bedeutend sein, daß sie den Zusammenhang des Gesteins völlig überwindet, also dasselbe zertrümmert oder zerstört. Innerhalb einer noch engeren Grenze  $r_3$  kann endlich aufser der Elastizität und dem Zusammenhang auch noch das Gewicht des Gesteins überwunden werden. Man kann sonach um den Ausgangspunkt  $o$  der Sprengwirkungen drei verschiedene, durch Kugelflächen begrenzte Zonen unterscheiden: 1. die Erschütterungskugel, 2. die Zerstörungskugel, 3. die Explosionskugel.

Fig. 15.



Liegt nun die Oberfläche (1) des Gesteins (s. Fig. 15) über der äußersten oder doch (2) über der zweiten Zone, so erfolgt keine Wirkung, die Gase bleiben im Gestein eingeschlossen. Erst wenn die Oberfläche (3) die Zerstörungskugel durchschneidet, tritt die Wirkung sichtbar zu Tage. Es bildet sich sodann der sogenannte „Minentrichter“, eine kegelförmige Fläche  $aob$ , deren Achse durch die kürzeste Entfernung  $v$  zwischen dem Ladungsmittelpunkte und der Oberfläche bestimmt und als „Linie vom kleinsten Widerstande“ oder „kürzeste Widerstandslinie“ von den Bergleuten als „Vorgabe“ bezeichnet wird. Innerhalb dieses Minentrichters bildet sich der „Sprengkegel“, dessen Gestein wirklich zerstört ist, also ohne weiteres Abtreiben herausgenommen werden kann. Sein Inhalt beträgt

$$M = \frac{v}{3} (n \cdot v)^2 \pi \quad \text{oder} \quad = 1,05 v^3 \cdot n^2,$$

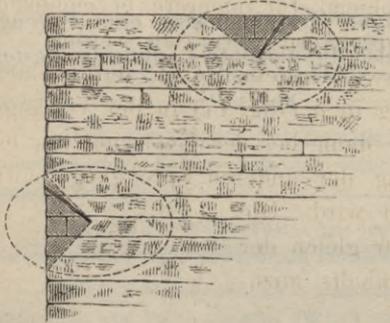
wenn  $1:n$  die Neigung der Kegelseiten ausdrückt. Im Durchschnitt ist  $n = 1$  und danach  $M = 1,05 \cdot v^3$  anzunehmen.

Schneidet die Oberfläche auch die Explosionskugel, so wird ein Teil des gelösten Materials unter heftigem Knall emporgeschleudert, während im vorigen Falle nur eine dumpfe Erschütterung eintritt.

Für den hier in Frage stehenden Zweck der Lösung einer möglichst großen Gesteinsmasse mit geringster Ladung ist also die günstigste Lage der Oberfläche diejenige, welche die Explosionskugel eben berührt, sodafs das Material nur gelockert und höchstens etwas gehoben, jedoch nicht mit überschüssiger Kraft fortgeschleudert wird. Jedes solche laut detonierende Fortschleudern von Gesteinsteilen ist also ein Zeichen von verschwendeter Sprengkraft, bzw. von zu großer oder der Aufsfläche zu nahe gelegener Ladung. Liegt die Aufsfläche unten oder seitwärts, so wird bei der zweckmäßigen

Durchschneidung zwischen Explosions- und Zerstörungskugel bereits das gelöste Material herausfallen, aber nur infolge der Schwerkraft.

Fig. 16.



Ist das Gestein, wie in Wirklichkeit immer, nicht nach allen Richtungen gleich widerstandsfähig, sonst aber gleichartig, so treten an Stelle der oben bezeichneten Kugelflächen Ellipsoide mit 2 oder 3 ungleichen Achsen. So werden z. B. bei geschichtetem Gestein die Erschütterungen sich in der Richtung der Schichten, in der die Widerstandsfähigkeit geringer ist, weiter verbreiten, als in der Richtung rechtwinklig zu denselben; mithin wird das Ellipsoid in erster Richtung seine kleinste, in den beiden andern die gröfsere Achse haben (Fig. 16).

Bei der vorstehenden theoretischen Betrachtung wurde der Umstand vernachlässigt, dafs die Widerstandsfähigkeit des Gesteins bei Ladungen nahe der Oberfläche in der Richtung zu dieser geringer sein mufs, als in den übrigen. Danach mufs in allen praktischen Fällen die Form der Erschütterungszone u. s. w., ganz abgesehen von der Beschaffenheit des Gesteins, von der Kugel- bzw. Ellipsoidengestalt abweichen. Es kommt hier indessen weniger auf Ermittlung der genauen mathematischen Form der Begrenzungsfläche der Explosionswirkung an, als vielmehr auf eine Veranschaulichung der Wirkungsweise beim Sprengen im allgemeinen, und für diesen Zweck scheint die vorstehende, wie auch die weiter folgende bezüglich der Gesteinsverspannung gegebene Theorie wohl geeignet zu sein.

Die im Obigen besprochenen Vorgänge werden, abgesehen von jener mathematischen Ungenauigkeit, in der Wirklichkeit wegen der grofsen Verschiedenheit der Gesteinschichten und wegen der hinzukommenden sonstigen Zufälligkeiten, Klüfte, Spalten u. s. w. nie ganz rein zur Erscheinung kommen, immer aber den thatsächlichen Vorkommnissen zu Grunde liegen. Auch ist das Einbringen der Ladung in einen Punkt in Wirklichkeit nicht ausführbar, wengleich es nach Möglichkeit schon in Rücksicht auf eine thunlichst plötzliche Zündung der Masse angestrebt wird. Jedenfalls geht aus dem Vorstehenden hervor, dafs für den oben bezeichneten Zweck:

1. Die Gröfse der Ladung, von der die Ausdehnung der Zerstörungskugel abhängt,
2. die Tiefenlage der Ladung unter der Oberfläche (die „Vorgabe“)

von hervorragender Bedeutung sind, und den Widerstands- und Schichtungsverhältnissen jedes einzelnen Gesteins angepaft werden müssen, vergl. § 22.

Weiter kommen in Betracht: die gegenseitige Stellung, die Richtung und Weite der Bohrlöcher, die dazu dienen, die einzelnen Ladungen an die beabsichtigten Punkte zu bringen, vergl. § 23 u. 24.

Im Vorstehenden wurde für den Ansatz des Bohrloches eine freie Felswand vorausgesetzt. Anders jedoch gestaltet sich die Sprengwirkung, wenn die Felswand durch seitlich vorspringende andere Felswände eingeengt ist, oder wenn andererseits der Sprengschufs in einem vorspringenden Felsenkörper angebracht wird, der mehr freie Flächen bietet, als eine ebene Wand.

In ersterem Falle ist die Gesteinsverspannung, d. h. derjenige Widerstand, der durch das Nachbargestein gebildet wird, gröfser, in letzterem Falle kleiner, als bei der

freien ebenen Felswand. Demgemäß ist auch die Wirkung des Sprengschusses größer oder kleiner.

Um ein richtiges Bild von dem bedeutenden Einflusse der Gesteinsverspannung auf den Erfolg des Sprengens zu geben, soll nachfolgend für mehrere bezeichnende Fälle der Verspannung die theoretische Gröfse der Sprengkörper ermittelt werden.

Es sei zunächst der Fall angenommen, dafs zwei Gesteinsflächen unter einem rechten Winkel zusammenstoßen und eine Sprengladung in  $a$  (Fig. 17) in der Verlängerung der einen Seite angebracht sei. Es wird sich dann bei der Explosion nur ein halber Sprengkegel  $bac$  lösen können, da die Lösung der anderen Sprengkegelhälfte durch den Widerstand der Gesteinswand  $bd$  verhindert wird. Die Gröfse des Sprengkörpers ist also in diesem Falle nur gleich der Hälfte des durch die obige Formel bezeichneten Inhalts anzunehmen, mithin zu:

$$M = 0,52 v^3.$$

Ist dagegen der Schufs in gleicher Weise in der Ecke von drei zusammenstoßenden Gesteinsflächen angesetzt, so wird sich nur  $\frac{1}{4}$  des Gesteinskegels lösen können und die gelöste Masse sein:

$$M = 0,26 v^3.$$

Solche Fälle, bei denen die Verspannung größer ist, als bei einer vollen freien Fläche, werden in der Praxis möglichst vermieden. Man sucht vielmehr die Sprengladung in solchen Punkten anzubringen, in denen die Verspannung des Gesteins durch mehr als eine freie Fläche vermindert wird.

Zur Ermittlung des Einflusses einer größeren Freiflächigkeit denke man sich in einem Gesteinswürfel (Fig. 18), der an vier Seiten mit dem Nachbargestein fest verwachsen, dagegen nach zwei Seiten frei ist, eine Sprengladung so angebracht, dafs für die beiden freien Seiten die Vorgabe gleich groß ist, dann wird sich die Wirkung der Ladung nicht nur nach einer freien Seite hin äufsern, sondern nach beiden, da der Druck der Explosionsgase, wie bereits hervorgehoben, nach allen Seiten gleich ist. Es werden demnach zwei Sprengkegel, jeder von der oben angegebenen Gröfse, durch den Schufs gelöst werden. Hierzu kommen noch die zwischen den Sprengkegeln sich bildenden zwei halben Eekkörper, die durch leichte Nacharbeit gewonnen werden können und durch den Schufs als gelöst zu betrachten sind. Demnach berechnet sich die bei zwei freien Flächen mit  $M_2$  bezeichnete gelöste Masse zu

$$M_2 = 2 \cdot 1,05 v^3 + \frac{2}{2} \cdot 0,212 v^3 = 2,3 v^3.$$

In gleicher Weise ergeben sich die Sprengmassen für einen Gesteinswürfel von 3 bis 5 freien Seiten zu

$$M_3 = 3 \cdot 1,05 v^3 + \left(1 + \frac{3}{2}\right) 0,212 v^3 = 3,7 v^3,$$

$$M_4 = 4 \cdot 1,05 v^3 + \left(2 + \frac{4}{2}\right) 0,212 v^3 = 5,1 v^3,$$

$$M_5 = 5 \cdot 1,05 v^3 + \left(4 + \frac{4}{2}\right) 0,212 v^3 = 6,5 v^3,$$

und endlich einen freiliegenden Würfel:

$$M = 6 \cdot 1,05 v^3 + 8 \cdot 0,212 v^3 = 8,0 v^3.$$

Fig. 17.

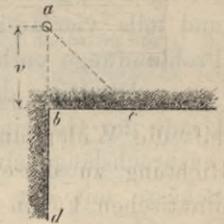
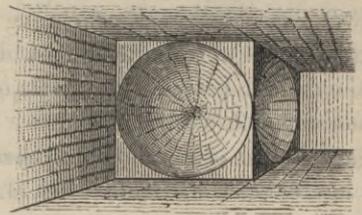


Fig. 18.



Somit verhalten sich die Wirkungen der Sprengschüsse in den aufgeführten Fällen nach den verschiedenen Graden der Gesteinsverspannung untereinander wie:

$$0,25 : 0,50 : 1,0 : 2,2 : 3,5 : 4,9 : 6,2 : 7,6,$$

wobei die Wirkung eines Schusses in einer vollen freien Fläche gleich 1 gesetzt ist.

In der Praxis kommen bei dem Abbauen eines unterirdischen Raumes in jeder Vortriebslänge bei den einzelnen Sprengschüssen verschiedene Grade der Gesteinsverspannung vor. Denke man sich z. B. den Vortrieb eines Stollens derartig bewirkt, daß in der ebenen Wand des Ortstosses zunächst das Gestein dem Umfange des Profils entlang weggesprengt wird, so sind bei dem ersten Schusse eine freie Fläche, bei allen folgenden zwei freie Flächen vorhanden. Dagegen bietet der nach Wegsprengen des Gesteins längs des Umfanges noch verbleibende Mittelkörper den Schüssen teils drei und teils vier freie Flächen; und schliesslich ist für das Nachschiefen der Ecken am Profilumfange entlang wieder nur eine freie Fläche vorhanden.

Mit Hilfe der vorstehenden Angaben über die Sprengmassen für die verschiedenen Grade der Gesteinsverspannung läßt sich in einem gegebenen Falle für eine gewisse Ausbruchslänge eines aufzuschließenden Hohlraumes annähernd die erforderliche Anzahl Schüsse mit der Vorgabe  $v$  berechnen, und daraus ein Anhalt zur Ermittlung der Sprengkosten gewinnen. Rziha hat in seinem Lehrbuche über die gesamte Tunnelbaukunst derartige Rechnungen für mehrere Beispiele ausführlich durchgeführt, worauf hier verwiesen wird.

Im allgemeinen kann man schliessen, daß je größer unter sonst gleichen Verhältnissen der verspannte Umfang eines aufzufahrenden Hohlraumes im Vergleich zu der Querschnittsfläche des letzteren ist, um so größer muß auch die durchschnittlich für die Masseneinheit erforderliche Schußzahl sein; oder was dasselbe sagt, um so größer müssen die Kosten für das Lösen einer Kubikeinheit des Gesteins ausfallen. Diese verhalten sich demnach für zwei verschieden große, unterirdische Hohlräume unmittelbar wie die Brüche  $\frac{p'}{F'}$  zu  $\frac{p''}{F''}$ , wobei  $p$  den verspannten Profilumfang und  $F$  die zugehörige Querschnittsfläche bezeichnet. Daraus ergibt sich die Regel, daß mit der Größe der Profilfläche eines unterirdischen Raumes die Auffahrungskosten für die Masseneinheit sich verringern.

Die vorstehenden Betrachtungen beziehen sich auf die Wirkung der einzeln abgefeuerten Schüsse. Diese kann wesentlich dadurch erhöht werden, daß mehrere Schüsse gleichzeitig abgefeuert werden, sodafs sie sich in ihrer Wirkung unterstützen.

Fig. 19.



Werden z. B. zwei Ladungen in  $a$  und  $b$  (Fig. 19) einer Felswand in einem Abstände gleich der doppelten Vorgabe  $v$  nacheinander abgeschossen, so werden die Sprengkegel  $cae$  und  $ebd$  gelöst. Wenn dagegen diese Ladungen gleichzeitig zur Explosion gebracht werden, so wird außer diesen Sprengkörpern unter günstigen Umständen noch die ganze zwischenliegende Masse  $aeb$ , jedenfalls aber ein Teil derselben mit gelöst.

Diese größere Wirkung gleichzeitig abgefeuerter Schüsse erklärt sich dadurch, daß bei dem Losreißen des Gesteins die Erschütterungssphäre in demselben weit über den eigentlichen Sprengtrichter hinausgeht, sodafs sich diese Erschütterungssphäre bei benachbarten, gleichzeitig abgefeuerten Ladungen durchkreuzen und dadurch die Erschütterung bis zu dem Grade gesteigert wird, daß eine weitergehende Trennung des Gesteins eintritt.

Höfer weist in seiner Spreng- und Minentheorie<sup>18)</sup> nach, dafs bei einer längeren Minenreihe der Inhalt des Wurfkörpers fast doppelt so grofs ist, als die Summe der Wurfkörper gleicher Einzelminen, sobald die Entfernung der Stofspunkte der Minenreihe gleich zweimal der doppelten Vorgabe angeordnet ist.

Während also bei Einzelschüssen für den Vortrieb eines Ortstofses um eine gewisse Länge  $v$  die Schüsse in Entfernungen voneinander gleich der Vorgabe  $v$  anzusetzen sind, können sie bei gleichzeitiger Explosion in Entfernungen von wenigstens  $1,5 v$  bis  $2 v$  angesetzt werden. Es ist dabei allerdings vorausgesetzt, dafs die Explosion der verschiedenen Ladungen wirklich gleichzeitig erfolgt. Mit Sicherheit kann dies nur durch elektrische Zündung erreicht werden. Diese verdient daher mehr Beachtung, als ihr gewöhnlich geschenkt wird.

**§ 21. Gröfse der Ladung.** Zur Beurteilung der Gröfse der Ladung mag die folgende Betrachtung dienen: Die Kraft, die durch Explosion eines Sprengstoffes frei wird, steht in genauem Verhältnis zu seiner Gewichtsmenge. Da nun, wie weiter oben gezeigt worden, bei gut geladenen Sprengschüssen unter sonst gleichen Umständen die gelösten Gesteinsmassen wachsen, wie die dritten Potenzen der kleinsten Widerstandslinien, so folgt unmittelbar, dafs zur Erzeugung dieser Wirkungen auch die Ladungen der einzelnen Schüsse mit den dritten Potenzen der kleinsten Widerstandslinie zunehmen müssen.

Dies gilt für gleich starke Sprengstoffe in demselben gleichartigen Gestein. Da aber die Wirkung der Ladung auch von der Explosionskraft des Sprengstoffes und ferner von der sehr verschiedenen Widerstandsfähigkeit des Gesteins abhängt, so kann zur Berechnung der erforderlichen Menge der Ladung in einem beliebigen Gestein die Gröfse der Vorgabe nicht allein maßgebend sein. Es mufs vielmehr die dritte Potenz der kleinsten Widerstandslinie noch mit einer Erfahrungszahl multipliziert werden, die von der Sprengkraft des zu verwendenden Stoffes und der Widerstandsfähigkeit des zu lösenden Gesteins abhängig ist, und nicht theoretisch berechnet, sondern nur durch Erfahrung und Versuche für die verschiedenen Fälle festgesetzt werden kann. Die Gröfse  $L$  einer Sprengladung drückt sich demnach allgemein aus durch die Formel:  $L = k \cdot v^3$ , worin  $k$  die betreffende Erfahrungszahl und  $v$  die Gröfse der Vorgabe bezeichnet. Ist diese in Metern ausgedrückt und soll durch  $L$  das Gewicht der Sprengstoffe in Kilogramm gegeben werden, so ist die Zahl  $k$  für Pulver bei den verschiedenen Gesteinen erfahrungsmäfsig zu 0,45 bis 0,65 anzunehmen; für Dynamite unter der Annahme einer fünffach gröfseren Sprengkraft zu 0,09 bis 0,13.<sup>19)</sup>

Für jede besondere Sprengarbeit ist diese Erfahrungszahl bezw. die zweckmäfsige Vorgabe und Ladung durch einige Versuchsschüsse festzustellen. Dabei mufs allerdings vorausgesetzt werden, dafs der die Arbeit leitende Techniker die Wirkungsweise der Schüsse und alle dabei in Betracht zu ziehenden Umstände genau versteht, und somit zur richtigen Anwendung der Grundsätze des Sprengens genügende Urteilsfähigkeit besitzt.

Da es in der Praxis nicht üblich ist, die durch die Erfahrungszahl  $k$  dem Gewichte nach bestimmte Pulvermenge für eine Ladung vor dem Einfüllen in das Bohrloch erst abzuwiegen, sondern diese Menge einfach nach der Höhe gemessen wird, die sie in dem Bohrloch einnimmt, so ist es zweckmäfsig, in Form einer Tabelle das Gewicht des cylinderförmigen Pulverkörpers für verschiedene Weiten des Bohrloches auszudrücken.

<sup>18)</sup> Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1882, S. 139, 192, 202.

<sup>19)</sup> A practical treatise on Coal mining by G. G. André. London 1878.

Als Anhalt für die Aufstellung solcher Ladetabellen ist die nachstehende Zusammenstellung der Gewichte sowohl von Pulver als von Dynamiten für verschiedene Bohrlochweiten beigelegt.

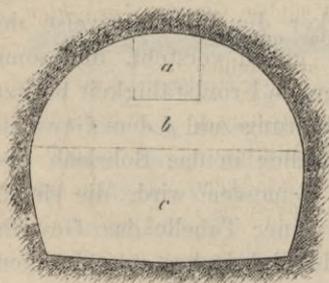
Tabelle II.

## Gewichtsverhältnisse von Pulver und Dynamiten für verschiedene Bohrlochweiten.

Durchmesser des Bohrloches in cm	Gewicht des Pulvers auf 1 cm Tiefe des Bohrloches in Gramm	1 kg Pulver erfordert eine Bohrloch-tiefe von cm	Gewicht der Dyna-mite auf 1 cm Tiefe des Bohrloches in Gramm	1kgDynamiterfordert eine Bohrloch-tiefe von cm
1,0	0,8	1272	1,3	796
1,5	1,8	565	2,8	353
2,0	3,1	319	5,0	199
2,5	4,9	204	7,8	127
3,0	7,1	142	11,6	86
3,5	9,6	104	15,4	65
4,0	12,6	79	20,0	50
4,5	15,9	63	25,4	39
5,0	19,6	51	31,4	32
6,0	28,3	35	45,3	22
7,0	38,5	26	61,4	16
8,0	50,3	20	80,5	12
9,0	63,6	16	101,8	10
10,0	78,5	13	125,7	8

§ 22. Tiefe und Weite der Bohrlöcher. Die Herstellung der Bohrlöcher ist bei Anwendung von Handbohrung der kostspieligste Teil der ganzen Sprengarbeit. Da nun die Kosten dieser Herstellung mit der Tiefe der Bohrlöcher höchstens in einfachem Verhältnisse zunehmen, während die Wirkung eines Sprengschusses in kubischem Verhältnisse mit der Vorgabe, also auch der (derselben annähernd proportionalen) Bohrtiefe wächst, so folgt, daß es im allgemeinen vorteilhafter ist, eine bestimmte Wirkung durch wenige möglichst tiefe Bohrlöcher zu erreichen, als durch eine gröfsere Zahl solcher von geringerer Tiefe. Andere Umstände wirken indessen wesentlich beschränkend auf die Tiefe der Löcher. Zunächst sind namentlich bei unterirdischen Bauten die Verhältnisse selten der Art, daß erheblich grofse Massen auf einmal gelöst werden könnten; je enger der Bau, desto kleiner muß naturgemäfs die auf einmal zu lösende Gesteinsmasse ausfallen und mit dieser muß die Tiefe der Löcher abnehmen. Dazu kommt, daß bei tieferen Schüssen die vorherige Beurteilung der Wirkung, sowie die Herstellung eines regelmäfsigen Profils wesentlich erschwert wird.

Fig. 20.



Als praktische Regel gilt, daß in gleichem Gestein die zweckmäfsigen Lochtiefen annähernd proportional zu nehmen sind den zweiten Wurzeln aus den Gröfsen der abzubauenen Querschnittsflächen.

Beim Tunnelbau verfährt man z. B. bei kurzen Tunnelstrecken in ganz festem Gestein häufig so, daß man zunächst einen Richtstollen *a* (Fig. 20) vortreibt, dann den anschließenden oberen Profilteil *b* (die Bogenausweitung) und schliesslich den unteren Profilteil *c* (die Strosse) ausschleift. Dabei pflegt man in zweigleisigen

Tunneln dem Stollen *a* 5 qm, der Kalotte *b* 20 qm und der Strosse *c* 40 qm Querschnittsfläche zu geben.

In diesen verschiedenen Profiltteilen macht man die Bohrlöcher bei Handarbeit im Stollen  $a = 30$  bis  $60$  cm, im Mittel  $45$  cm; in der Kalotte  $b$   $50$  bis  $80$  cm, im Mittel  $65$  cm und in der Strosse  $c$   $80$  bis  $120$  cm, auch wohl bis zu  $1,5$  m, im Mittel  $1,0$  m tief.

Beim Maschinenbohren pflegt man tiefere Löcher anzuwenden, so z. B. in Stollenprofilen von  $5$  bis  $8$  qm Fläche solche von  $1$  bis  $1,5$  m Tiefe.

Bezüglich der Weite der Bohrlöcher kommen folgende Rücksichten in Betracht: Für möglichst geringe Weite spricht die Rücksicht auf Verminderung der Bohrarbeit und damit auch der Kosten; dagegen für große Weite: einmal das oben begründete Bestreben, den Ausgangspunkt der Sprengwirkung, d. h. den Schwerpunkt der Ladung möglichst tief zu bringen, ferner die raschere Entzündung der ganzen Sprengladung von ihrem Mittelpunkte aus gegenüber einer langen und dünnen Gestalt derselben; endlich die größere Länge und Haltbarkeit des Besatzes. Namentlich mit Rücksicht auf letzteren Umstand hat sich erfahrungsmäßig die Regel herausgestellt, die Weite der Bohrlöcher so zu bemessen, daß die erforderliche Ladung etwa  $\frac{1}{3}$  der Tiefe, selten bis  $\frac{2}{5}$  derselben einnimmt. Es soll nun, wie oben gezeigt, die Größe der Ladung im kubischen Verhältnisse zu der Tiefe der Löcher wachsen. Hieraus folgt, daß deren Weite bei sonst gleichen Verhältnissen im einfachen Verhältnis mit der Tiefe zunehmen muß.

$$\left(\text{Ladungsraum} = \frac{t}{3} \cdot \frac{d^2\pi}{4}, \text{ also } \frac{t}{3} \cdot \frac{d^2\pi}{4} : \frac{T}{3} \cdot \frac{D^2\pi}{4} = t^3 : T^3 ;\right. \\ \left. \text{mithin } d^2 : D^2 = t^2 : T^2 \text{ oder } d : D = t : T.\right)$$

Es ist jedoch weiter zu berücksichtigen, daß der Ladungsraum bei verschieden starken Sprengstoffen ungleich ausfällt, sodafs z. B. bei Dynamiten die Löcher enger sein dürfen, als bei Pulver, worin ein wesentlicher Vorteil des ersteren Sprengstoffes dem Pulver gegenüber begründet ist. Endlich hängt die Stärke der Ladung auch noch von der Beschaffenheit des Gesteins ab.

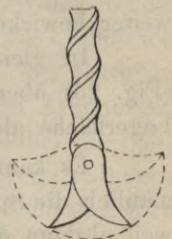
Praktisch zweckmäßige Verhältnisse bezüglich der Weite bei verschiedenen Tiefen gibt folgende Tabelle.

Tabelle III. Weite der Bohrlöcher für verschiedene Tiefen derselben.

Tiefe der Bohrlöcher in cm	Weite der Bohrlöcher			
	Für Pulver		Für Dynamite	
	in mm	in mm im Mittel	in mm	in mm im Mittel
30—50	27—33	30	20—25	23
50—80	33—48	40	25—35	30
80—120	48—60	55	35—45	40

Um bei Anwendung möglichst enger Bohrlöcher doch einen großen und möglichst konzentrierten Laderaum zu erhalten, hat man für Drehbohrer in mildem Gestein das in Fig. 21 dargestellte Werkzeug, den sogenannten Aushöher oder Exkavator, hergestellt. Dieser wird in einem mit gewöhnlichem Bohrer hergestellten Bohrloch angesetzt und wie ein solcher gebraucht. Durch den Druck gegen die beiden Messer öffnen sich diese allmählich und schneiden eine Höhlung, die zur Aufnahme der Sprengladung dient. Die Sprenggase wirken hierbei auf eine größere Fläche und auch senkrecht zur Achse des Bohrlochs. Bei Verwendung des Apparates in Kohle hat sich ergeben, daß dieselbe Menge Pulver eine zwei- bis viermal größere Sprengwirkung ausübt, als bei Anwendung gewöhnlicher Bohrlöcher, und daß der neue Abbruch mit dem alten parallel läuft.

Fig. 21.  
Aushöhler.



§ 23. Anordnung der Bohrlöcher. Wie schon hervorgehoben, wechseln bei der Sprengarbeit die ihren Erfolg beeinflussenden Umstände von Fall zu Fall, namentlich

kommen in Wirklichkeit Gesteinskörper mit so gleichmäßigen und ebenen Flächen, wie sie den theoretischen Betrachtungen über die Wirkung der Sprengschüsse in § 20 zu Grunde liegen, nur selten vor. Die nachstehend gegebenen Regeln können daher nicht den Zweck verfolgen, eine genaue Vorschrift für die Anordnung eines jeden einzelnen Schusses zu geben; vielmehr haben sie nur die wesentlichen Gesichtspunkte im allgemeinen festzustellen, deren verständnisvolle Anwendung auf den einzelnen Fall dem ausführenden Techniker überlassen bleiben muß. In diesem Sinne mag Folgendes hervorgehoben werden:

1. Die Richtung, die einem Bohrloche zu geben ist, bestimmt sich nach der Lage und Gröfse der für den Schufs in Aussicht genommenen kürzesten Widerstandslinie und muß bei Pulver eine andere sein als bei Dynamiten.

Die verhältnismäßig langsame Verbrennung des Pulvers erfordert zur Entwicklung der zur Sprengung nötigen Kraft eine gewisse Zeit, die an sich allerdings nur gering, unter Umständen doch genügt, den Besatz heraus zu schleudern, wenn derselbe im Verhältnis zur Ladung zu kurz ist. Letzteres würde bei normaler Pulverladung dann der Fall sein, wenn das Bohrloch in die Linie des kleinsten Widerstandes fällt, bei Schüssen in ebener Fläche also rechtwinkelig auf diese angesetzt würde.

Um dies zu vermeiden, ist das Loch gegen die Senkrechte zur Gesteinsfläche, oder was annähernd dasselbe sagt, gegen die Richtung der kleinsten Widerstandslinie geneigt anzusetzen. Es hat sich im allgemeinen eine Neigung von  $45^\circ$  als zweckentsprechend ergeben, sodafs die Gröfse der Vorgabe etwa  $\frac{3}{4}$  der Lochtiefe beträgt.

Ein ähnliches Verhältnis der Vorgabe zur Lochtiefe ist bei Anwendung von Pulver nicht nur für Schüsse in ebener Felswand, sondern überall (z. B. auch beim Abprengen vortretender Gesteinsteile u. s. w.) inne zu halten.

Bei Anwendung von Dynamiten ist eine Neigung des Loches gegen die kleinste Widerstandslinie zur Erzielung einer gröfseren Lochtiefe nicht notwendig, weil die plötzliche Zündbarkeit dieses Sprengstoffes einen längeren Besatz entbehrlich macht. Hierin und zwar wegen der dadurch ermöglichten Ersparnis an Bohrarbeit, liegt ein weiterer grofser Vorteil der Dynamite gegenüber dem Schwarzpulver.

2. Einflufs der Klüftungen. Einzelne einander nicht zu naheliegende Klüfte oder „Lagerungen“ (Schichtungsspalten), die das Gestein durchziehen, können die Wirkung eines Sprengschusses oft wesentlich erhöhen, indem sie den Einflufs der freien Flächen ergänzen, wenn beim Ansetzen der Bohrlöcher genügende Rücksicht auf ihre Lage genommen wird.

Wird z. B. ein Schufs *ab* (Fig. 22) zwischen gleichlaufenden „Ablösungen“ (Spaltungsflächen) angesetzt, so kann er aufer in der Richtung der Vorgabe nach *c*, auch nach der anderen Seite eine vollständige Ablösung bis zur Lagerung *de* oder noch weiter bewirken.

In gleicher Weise wird ein quer durch die Lagerflächen getriebener Schufs (Fig. 23) über die Bohrlochsohle hinaus bis zu der nächsten oder auch zweitnächsten Lagerfläche ablösend wirken.

Es kann jedoch der Einflufs der Klüftungen andererseits nachteilig sein, wenn nämlich die Sprengladung den Klüftungen zu nahe kommt oder diese gar durchschneidet, weil alsdann den Gasen Gelegenheit gegeben wird, durch die leicht erweiterten Klüfte ohne erhebliche Wirkung zu entweichen. Es gilt daher als Regel, dafs die Ladung soweit als möglich in „ganzem“ Gestein liegen soll.

Fig. 22.

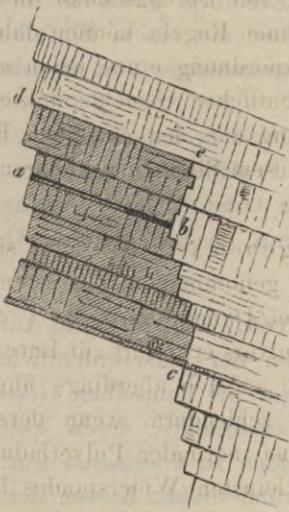
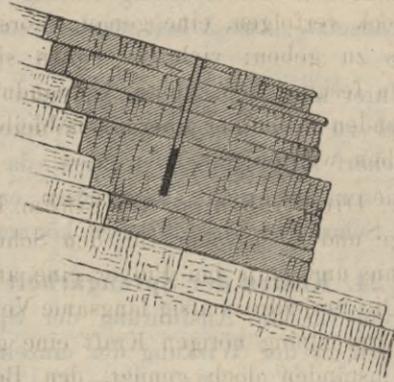


Fig. 23.



Dies bezieht sich namentlich auf die Anwendung von Pulver, während die Dynamite ein Entweichen der Gase durch Klüftungen, seiner plötzlichen Wirkung wegen, weniger befürchten lassen. Zur Verwendung in dünnschichtigem („kurzklüftigen“) Gestein, das die Durchführung jener Regel ausschließt und deshalb mit Recht als ungünstiges Schufsgestein gilt, verdienen demnach, wenn es überhaupt gesprengt werden soll, die Dynamite gegenüber dem Pulver entschieden den Vorzug.

Unter sonst gleichen Verhältnissen wendet man demnach in kurzklüftigem, verworrenen Gestein flache Bohrlöcher, in grobklüftigem mitteltiefe und in ganzem Gestein tiefe Bohrlöcher an. In kurzklüftigem Gestein sollen die Bohrlöcher stets quer gegen die Schichtung angesetzt sein. — Bei regelmässigen, schon angebrochenen Gesteinsschichten setzt man die Schüsse senkrecht auf die Lagerflächen.

3. Jeder Schufs ist so anzusetzen, dafs er den folgenden vorarbeitet, indem er die freien Flächen für diese vermehrt. Dieser Forderung läfst sich mit Handbohrung erheblich besser nachkommen, als bei Anwendung von Maschinen, da man hierbei in der Wahl für die Richtung der Bohrlöcher erheblich mehr beschränkt ist.

4. Vorgang beim Ortbetrieb. Es wurde schon bei Besprechung der gewöhnlichen Häuerarbeit hervorgehoben, dafs es beim Abbauen eines unterirdischen Hohlraumes, d. h. beim Vortreiben einer Ortfläche für die Erleichterung der Arbeit nicht gleichgiltig ist, an welcher Stelle des Ortstofses mit dem Vortriebe begonnen wird.

Bei der Anwendung von Sprengarbeit gelten für den „Einbruch“ dieselben Regeln, die schon für die Keilhauenarbeit entwickelt worden sind. Danach soll das „Einbruchschiefen“ in ganzem gleichartigen Gestein unter halber Mannshöhe in der Mitte des Ortstofses stattfinden; bei geschichtetem Gestein, wenn die Schichten dem Arbeiter zu fallen, nahe der First (was das Günstigste für die Sprengarbeit ist, weil dabei die Bohrlöcher bequem rechtwinkelig auf die Schichtung angesetzt werden können); im entgegengesetzten Falle nahe der Sohle. Die Einbruchschüsse pflegt man bei Handbohrung nicht tief zu setzen, doch hängt das von der Schiefsbarkeit des Gesteins ab.

Zeigt das Gestein im Ortstofs Stellen, die das Einbruchschiefen erleichtern, so werden diese benutzt; es richtet sich dann der Fortgang der Schiefsarbeit nach dem

Erfolge der ersten Schüsse. Derartige Erleichterungen werden z. B. durch Hauptklüfte geboten, welche die Ortfläche quer durchsetzen. Der Einbruch geschieht hier in der Weise, daß man der Klüftung entlang eine Anzahl Schüsse mit einem Einfallen gegen dieselbe ansetzt. Die Arbeit wird in solchem Falle unregelmäßiger und erfordert mehr Einsicht.

Unter allen Umständen hat man bei der Sprengarbeit in unterirdischen Räumen die Regel zu beachten, daß die Winkel zwischen den Profilflächen und dem Ortstofs immer scharf ausgeschossen werden, da volle Ecken am Ortstofs die Verspannung für die in diesem anzusetzenden Schüsse erheblich vermehren, ja bei kleinem Querprofil fast alle Schufwirkung aufheben können.

**§ 24. Kosten der Sprengarbeit beim Handbohren.** Gleichwie die Aufstellung von Regeln für die Ausführung der Sprengarbeit wegen der außerordentlichen Verschiedenheit in der Wirkung der einzelnen Schüsse, sogar bei demselben Gestein, auf die Entwicklung der allgemeinen Gesichtspunkte sich beschränkte, deren weitere Anwendung für den einzelnen Fall dagegen dem Ausführenden zu überlassen war, ebenso können bezüglich der mit jener Verschiedenheit sehr veränderlichen Kosten der Sprengarbeit nicht derartig bestimmte Angaben gemacht werden, daß sie für alle einzelnen Fälle ohne weiteres ausreichen würden. Die nachfolgenden Bemerkungen sollen daher nur dazu dienen, dem Leser einen allgemeinen Maßstab für die Beurteilung der Kosten an die Hand zu geben.

Für jeden einzelnen Fall ist es zur Schätzung der Sprengkosten für die Kubikeinheit des aufzuschließenden Raumes notwendig, Versuchsarbeiten vorzunehmen und danach folgende Einzelkosten zu ermitteln: 1. für die Bohrarbeit, einschließlic Laden, Besetzen und „Abtreiben“ nach dem Schusse; 2. für Beschaffung der Sprengstoffe, einschließlic der Zündschnüre u. s. w.; 3. für Beschaffung und Unterhaltung des Gezähes.

Je geringer die Zahl der ausgeführten Probeschüsse ist, desto notwendiger wird eine umsichtige Berücksichtigung aller in den vorstehenden Paragraphen hervorgehobenen Einflüsse auf die Sprengwirkung, namentlich der durch die Gesteinsverspannung bedingten, um aus den gewonnenen Ergebnissen mit einiger Sicherheit auf die Kosten der Sprengarbeit in dem gegebenen Abbauprofile schließen zu können.

In Bezug auf den Einfluß der Verspannung, wie er sich bei der Sprengarbeit in den einzelnen Profiltteilen eines Tunnels geltend macht, mögen folgende Beispiele aus der Praxis hier Platz finden:

1. Im Tesch-Tunnel bei Vohwinkel wurde ein Richtstollen *a* (Fig. 20, S. 56) in 2,5 m Höhe und 2,8 m Breite mit 7 qm Querschnittsfläche vorgetrieben, diesem folgte die Ausweitung der Kalotte *b* mit einer Fläche von 19,7 qm, dann ein bis auf die Tunnelsohle reichender Schlitz in der Strosse *c* („Sohlenschlitz“) von 3,75 m Höhe und 2,93 m Breite mit 11 qm Fläche, schließlic der Abbau der beiderseitigen Strossen mit zusammen 25,3 qm Querschnittsfläche. In diesen einzelnen Profiltteilen betragen die Kosten der Sprengarbeit für 1 cbm Ausbruch in der Kalotte  $\frac{3}{5}$ , in dem Sohlenschlitz  $\frac{1}{2}$  und in den beiderseitigen Strossen  $\frac{1}{3}$  von den Sprengkosten eines Kubikmeters Gestein im Richtstollen.

2. Bei der Veranschlagung der Tunnel in den Rampen der Gotthard-Bahn war für eingleisige Tunnel ein Richtstollen von 5 qm Querschnittsfläche vorgesehen und wurden die Sprengkosten pro 1 cbm in dem übrigen Vollausbruchsprofil mit rund 30 qm Fläche zu  $\frac{1}{2}$  von denjenigen eines Kubikmeters Stollenausbruch angenommen. Für zweigleisige Tunnel war daselbst die Ausführung eines Firststollens mit 5 qm und in vielen Fällen gleichzeitig ein Sohlenstollen mit 6 qm Querschnittsfläche vorgesehen. Die Kalotte oder Bogenausweitung hat dabei eine Größe von 6 qm, die übrige Vollausbruchsfläche eine solche zwischen 30 und 40 qm. Es wurden dabei die Sprengkosten pro Kubikeinheit für die beiden Stollen untereinander gleich, für die Bogenausweitung zu  $\frac{1}{2}$ , für den Vollausbruch zu  $\frac{1}{3}$  von jenen für die Stollen angenommen.

3. Als besonderes Beispiel entnehmen wir einem Aufsätze von Bauinspektor Al. Stané in Prag über den Bau des Spitzberg-Tunnels im Zuge der Eisenbahn Pilsen-Eisenstein<sup>20)</sup> die in nachstehender Tabelle IV zusammengestellten beachtenswerten Zahlen.

Tabelle IV. Ergebnisse der Sprengarbeiten beim Bau des Spitzberg-Tunnels.

Bezeichnung der Arbeit und des Materials	Bedarf für Gewinnung von 1 cbm Gestein bei										
	dem Schachtbteufen. Querschnittsfläche 17,0 qm im Glimmerschiefer	dem Sohlenstollen, Quer- schnittsfl. 6,1 qm im gewunde- nen Glimmerschiefer und im zerklüfteten Quarzit	dem Firststollen. Querschnittsfläche 4,40 qm bei 8 stün- digen Arbeits- schichten im			der Ausweitung des Bogenorts, Quer- schnittsfläche 17,1 qm bei 12 stün- digen Schichten im			der Strosse. Querschnittsfläche 26 qm bei 12 stün- digen Arbeits- schichten im		
			gewundenen Glimmerschiefer	zerklüfteten Quarzit	durchschnittlich	gewundenen Glimmerschiefer	zerklüfteten Quarzit	durchschnittlich	gewundenen Glimmerschiefer	zerklüfteten Quarzit	durchschnittlich
1. Tiefe eines Bohrloches . . . m	0,65	0,38	—	—	0,38	—	—	0,5	—	—	0,7
2. Anzahl der Bohrlöcher . . . .	6,5	15,0	—	—	17,0	—	—	6,3	—	—	3,7
3. Tiefe aller Bohrlöcher . . . m	4,1	6,1	—	—	6,5	—	—	3,0	—	—	2,5
4. Anzahl der scharfen Bohrer . .	50,0	80,0	—	—	85,0	—	—	30,0	—	—	25,0
5. Steigerschichten . . . . .	0,2	0,05	—	—	0,5	—	—	0,05	—	—	0,05
6. Mineurschichten . . . . .	5,0	4,0	5,4	3,5	4,7	2,94	2,0	2,23	2,6	1,6	2,0
7. Guhrdynamit No. 1 . . . . . kg	1,45	2,2	3,0	2,0	2,5	1,3	0,66	1,05	1,19	0,4	0,8
8. Zündschnur, lfd. m (Kautschuk)	7,5	12,5	17,6	12,5	15,0	7,6	4,1	5,2	5,4	2,1	3,9
9. Kapseln . . . . . Stück	7,0	16,0	20,0	15,0	18,0	7,5	4,4	6,0	6,0	2,4	4,0
10. Brennöl . . . . . kg	0,7	0,5	0,7	0,48	0,55	0,47	0,36	0,40	0,45	0,3	0,35
11. Schmiedeschichten . . . . .	0,51	0,58	—	—	0,60	—	—	0,20	—	—	0,15
12. Wagnerschichten . . . . .	0,04	0,01	—	—	0,01	—	—	0,01	—	—	0,01
13. Zuträgerschichten . . . . .	0,14	0,30	—	—	0,30	—	—	0,08	—	—	0,06
14. Wächterschichten . . . . .	0,14	0,02	—	—	0,02	—	—	0,02	—	—	0,02
15. Eisen . . . . . kg	0,95	0,2	—	—	0,2	—	—	0,2	—	—	0,2
16. Schmiedekohle (1/3 Holz, 2/3 Stein- kohlen) . . . . . kg	10,0	11,0	—	—	12,0	—	—	4,5	—	—	3,0
17. Stahlabnutzung der Bohrer kg	—	0,4	—	—	0,4	—	—	0,2	—	—	0,14
Kosten pro cbm in M.	20,35	19,40	—	—	22,28	—	—	10,10	—	—	8,09

Anmerkung. Bei Berechnung der Kosten sind nur die für die reinen Gewinnungsarbeiten entstandenen Ausgaben berücksichtigt, und demnach die Angaben der Tabelle, die sich auf Aufsicht, Bewachung und den Transport der Berge und auf die Zimmerung beziehen, unberücksichtigt geblieben. Es wurden folgende Einheitspreise zu Grunde gelegt: 1 Häuerschicht = 3 M., 1 kg Dynamit = 2 M., 100 m Zündschnur = 2 M., 100 Stück Zündkapseln = 1,4 M., 1 kg Brennöl = 0,8 M., 1 Schmiedeschicht = 2,5 M., 1 Werkzeugträger = 1,5 M., 100 kg Schmiedekohlen = 2,5 M., 100 kg Stahl = 100 M., 100 kg Eisen = 18 M.

In den verschiedenen beim Spitzberg-Tunnel vorkommenden Gesteinen waren zur Herstellung eines zweimännigen Bohrloches von 1 m Tiefe bei einer Bohrschneide von 27 mm Breite und einem Fäustelgewicht von 8 kg erforderlich: 1. In ebenflächigem Glimmerschiefer 2800 Schläge, 100 Minuten Zeit und 20 Bohrer. 2. In gewundenem Glimmerschiefer 2500 Schläge, 90 Minuten Zeit und 16 Bohrer. 3. In Quarzitschiefer 3100 Schläge, 110 Minuten Zeit und 25 Bohrer.

4. Als besonderes Beispiel für die Kosten der Sprengarbeit in den einzelnen Profiltteilen eines eingleisigen Tunnels in leicht schiefbarem Gebirge diene Tabelle V (S. 62), worin die betreffenden Ergebnisse zusammengestellt sind, die beim Marienthaler Tunnel der Bahn von Altenkirchen nach Au (Westerwald) in den Monaten Juni bis August 1886 gewonnen wurden.

Die durchschnittlichen Kosten der Gewinnung eines Kubikmeters Gestein in dem Gesamtprofil eines zweigleisigen Eisenbahntunnels sind nach Rziha<sup>21)</sup> für Sprengarbeit und für gewöhnliche Häuerarbeit in Tabelle VI gegeben.

<sup>20)</sup> Zeitschr. f. Bauw. 1878, Heft IV bis VII.

<sup>21)</sup> Rziha. Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst.

Tabelle V. Bedarf an Arbeitskräften und Material zur Gewinnung von 1 cbm Gestein im Marienthaler Tunnel.

Bezeichnung der Arbeit und des Materials	Im Sohlenstollen. Querschnitt = 7,50 qm. (Maschinenbohrung)			Im Firststollen. Querschnitt = 4,60 qm			In der Bogenaus- weitung. Querschnitt zu jeder Seite des Firststollens = 3,4 qm			In einer Seiten- strosse (6,3 qm), mit dem Mittelschlitz (4,4 qm), zus. Quer- schnitt = 10,70 qm		
	In festem Thonschiefer	In mildem Schiefer mit Lettnenschichten	Durchschnitt	In festem Thonschiefer	In mildem Schiefer mit Lettnenschichten	Durchschnitt	In festem Thonschiefer	In mildem Schiefer mit Lettnenschichten	Durchschnitt	In festem Thonschiefer	In mildem Schiefer mit Lettnenschichten	Durchschnitt
	1. Oberhauer-Schichten . . .	0,09	0,11	0,10	0,07	0,09	0,08	0,12	0,20	0,16	0,06	0,04
2. Häuerschichten . . . . .	0,54	0,61	0,58	1,47	1,28	1,38	1,44	2,90	2,17	0,56	0,61	0,59
3. Anzahl der Bohrlöcher . .	1,69	0,67	1,18	5,84	2,83	4,34	3,11	0,65	1,88	0,67	0,33	0,50
4. Tiefe aller Bohrlöcher m	2,77	1,02	1,57	4,15	2,24	3,19	2,00	0,35	1,18	0,38	0,17	0,28
5. Anzahl der scharfen Bohrer	2,60	0,49	1,55	7,34	4,81	6,08	3,80	1,15	2,48	0,36	0,35	0,36
6. Gelatinedynamit . . kg	2,08	0,81	1,45	1,30	0,58	0,94	0,58	0,09	0,34	0,12	0,06	0,09
7. Zündschnur . . . . m	2,54	1,07	1,81	5,84	2,83	4,34	3,11	0,65	1,88	0,51	0,26	0,39
8. Zündkapseln . . . Stück	1,86	0,09	0,98	5,84	2,83	4,34	3,11	0,65	1,88	0,67	0,33	0,50
9. Verbrauch an Bohrstahl kg	0,24	0,04	0,14	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Kosten pro cbm in M.	—	—	5,50	—	—	6,43	—	—	8,33	—	—	2,23

Anmerkung. Der Sohlenstollen wurde mit Hilfe von Bohrmaschinen betrieben, die übrigen Profilitelle mit Handbohrung. — Bei der Kostenberechnung sind dieselben Einheitspreise wie bei der Kostenermittlung für den Spitzberg-Tunnel zu Grunde gelegt. — Beim Sohlenstollen sind die Kosten für die Anlage und den Betrieb der Bohrmaschinen unberücksichtigt geblieben. — In den Kosten ist der Arbeitslohn für Verzimmerung mit einbegriffen.

Tabelle VI. Durchschnittliche Kosten für das Lösen von 1 cbm Gestein im ganzen Profil eines zweigleisigen Eisenbahntunnels bei Anwendung von Pulver.

No.	Gesteinsklasse Benennung	Häuerlohn		Pulver (à Centner an der Verbrauchsstelle im Tunnel 45 M.)		Zünder (à Ring = 8 m an der Verbrauchs- stelle im Tunnel 30 Pf.)		Beschaffung und Unterhaltung des Gezähes und der anderen Geräte (Neubeschaffung, totale Schmiede- und Stellmacher- kosten, Pulver- kammer, Bohr- träger u. s. w.)		Total- kosten pro cbm Gewin- nung	Leistung eines Häuers in 8 stün- diger Schicht
		Anzahl der Schich- ten à 2,8 M.	Betrag pro cbm M.	Kilogr. à 90 Pf.	Betrag pro cbm M.	lauf. Meter à 2,5 Pf.	Betrag pro cbm Pf.	Prozent des Häuer- lohnes	Betrag pro cbm M.		
I	Sehr schwer schiefsbar	5,6	15,70	1,4	1,30	26	21	30	4,71	21,90	0,19
II	Schwer schiefsbar . . .	3,0	8,40	1,0	0,90	20	16	25	2,10	11,60	0,34
III	Leicht schiefsbar . . .	1,9	5,30	0,9	0,80	15	12	18	0,98	7,20	0,53
IV	Gebüch . . . . .	1,3	3,70	0,3	0,30	6	5	10	0,37	4,46	0,77
V	Rollig . . . . .	0,45	1,30	—	—	—	—	5	0,6	1,40	2,23
VI	Mild . . . . .	0,21	0,60	—	—	—	—	4	0,3	0,60	4,14
VII	Schwimmend . . . . .	0,16	0,40	—	—	—	—	2	0,1	0,40	6,18

5. Schliesslich lassen wir noch die ausführlich aufgeführten Kosten der Sprengarbeit in den Versuchsstollen für den Kehrtunnel bei Wattingen und am Leggestein an der Gotthard-Bahn<sup>22)</sup> in nachstehender Tabelle VII (S. 63) folgen.

<sup>22)</sup> Nach gef. Mitteilung des Herrn Professor Dolezalek in Hannover.

Tabelle VII.  
Ausführlich aufgeführte Kosten der Sprengarbeiten in den Versuchsstollen für den Kehrtunnel bei Wattingen und am Leggistein.

Stollenvortrieb im Tunnel	Gebirge	Anzahl der Bohrer gleichzeitig arbeitenden Bohrer	Zeit der Herstellung sämtlicher Bohrer für 1 m Fortschritt	Zeit einer Bohr- und Sprengperiode in Stunden	Anzahl der Sprengungen für 1 m Fortschritt	Sprengmittel	Ladung für ein Bohrch	Ladung im ganzen für 1 m Stollen	Kubikmasse des jeweiligen Ausbruchs bei einer Sprengung	Fortschritt in 24 Stunden	Anzahl der Arbeiter (Mineurs) für 1 m Fortschritt	Kosten für 1 Meter Fortschritt	Für 1 cbm Ausbruch			Kosten für 1 m Stollen					
													Anzahl der Bohrtöcher	Tiefe der Bohrtöcher	Erforderliche Sprengmittel	Anzahl der Arbeiter	Kosten	Bohrarbeit einsch. Rückwerten des Schuttes	Sprengmittel	Werkzeug-Instandhaltung	Zusammen.
			s. d.	Spren- gperiode	Anzahl der Sprengungen	Dyna- mit	kg	kg	Cbm	Meter	Mineurs	M.	M.	M.	M.	M.	M.	M.			
Kehrtunnel am Leggistein	Eingang	2	26,6	3,0	8,8	0,2	8,5	0,68	0,68	0,68	17,7	128,2	7,1	0,45	1,42	2,95	21,40	85,0	27,4	15,8	128,2
	Ausgang		34,5	3,0	11,5	0,2	10,95	0,52	0,52	0,52	23,0	164,2	9,1	0,40	1,825	3,83	27,40	110,4	35,0	18,8	164,2
Kehrtunnel bei Wattingen	Eingang		22,5	3,0	7,5	0,25	6,75	0,80	0,80	0,82	15,0	107,5	4,5	0,55	1,125	2,5	18,0	72,0	21,6	13,9	107,5
	Ausgang		27,9	3,0	9,3	0,2	9,15	0,65	0,62	0,62	18,6	133,9	7,6	0,50	1,525	3,10	22,40	89,3	26,3	15,3	133,9

Anmerkung. Die Querschnittsfläche der Stollen betrug 6 qm. Das Losbrechen der Sprengstücke und Rückwerfen des Schuttes auf solche Entfernung, daß eine neue Bohrung beginnen konnte, besorgten die Mineure, welche zu 4 Mann in 8 stündigen Schichten arbeiteten. Die Kosten hierfür sind in der Bohrarbeit einbegriffen. Während einer 8 stündigen Schicht wurde in der Regel zweimal abgeschossen. Die Mineure verdienten im Stücklohn 4,80 M. im Tag (8 Stunden). Ein Kilogramm Dynamit einschließlichs der erforderlichen Zündschnur, Kapseln und Magazin kostete 3,20 M.

6. Sehr wertvolle Ermittlungen bezüglich der Kosten der Sprengarbeit in den einzelnen Profilverteilen eines Tunnels hat Rziha in seinem Lehrbuche über die gesamte Tunnelbaukunst niedergelegt. Wir geben diese, auf Metermaß umgerechnet, in nachstehender Tabelle VIII wieder.

Tabelle VIII.

**Leistung eines Bohrhäuers und Verbrauch an Pulver und Zündschnur bei der Sprengarbeit eines zweigleisigen Eisenbahntunnels in den einzelnen Profilverteilen desselben.**

Gesteins- klasse	1 Häuer sprengt in achtstündiger Schicht				1 Kubikmeter zu lösen erfordert an:											
					Häuerschichten				Pulver in Kilogramm				Zündschnur in Meter			
	Im Stollen mit 5 qm Querschnitt	In der Kalotte mit 13 qm Querschnitt	In der Strosse mit 84 qm Querschnitt	Durchschnitt- lich im ganzen Profil	Im Stollen mit 5 qm Querschnitt	In der Kalotte mit 13 qm Querschnitt	In der Strosse mit 84 qm Querschnitt	Durchschnitt- lich im ganzen Profil	Im Stollen mit 5 qm Querschnitt	In der Kalotte mit 13 qm Querschnitt	In der Strosse mit 84 qm Querschnitt	Durchschnitt- lich im ganzen Profil	Im Stollen mit 5 qm Querschnitt	In der Kalotte mit 13 qm Querschnitt	In der Strosse mit 84 qm Querschnitt	Durchschnitt- lich im ganzen Profil
I. Sehr schwer schiefsbar	0,11 bis 0,06	0,19 bis 0,10	0,40 bis 0,21	0,27 bis 0,14	9,3 bis 17,5	5,2 bis 10,0	2,5 bis 4,7	3,7 bis 7,0	1,3 bis 2,5	1,2 bis 2,2	0,7 bis 1,4	0,9 bis 1,7	16,2	7,1	2,5	5,8
II. Schwer schiefsbar	0,21 bis 0,11	0,38 bis 0,20	0,83 bis 0,41	0,53 bis 0,27	4,7 bis 8,8	2,6 bis 5,0	1,2 bis 2,4	1,9 bis 3,7	0,9 bis 1,8	0,9 bis 1,7	0,6 bis 1,0	0,7 bis 1,3	13,2	5,7	2,0	4,7
III. Leicht schiefsbar	0,31 bis 0,17	0,55 bis 0,29	1,25 bis 0,63	0,77 bis 0,40	3,1 bis 5,8	1,8 bis 3,4	0,8 bis 1,6	1,3 bis 2,5	0,8 bis 1,5	0,8 bis 1,4	0,5 bis 0,9	0,6 bis 1,1	8,8	3,8	1,3	3,5

## Litteratur,

## Sprengstoffe und Sprengtechnik betreffend.

## a) Selbständige Schriften.

- Gätzschmann. Die Lehre von den bergmännischen Gewinnungsarbeiten. Freiberg 1846.  
 Trauzl. Explosive Nitritverbindungen, insbesondere Dynamit und Schiefswolle. Wien 1870.  
 Lauer, Joh. Spreng- und Zündversuche mit Dynamit und komprimierter Schiefsbaumwolle. Wien 1872.  
 Gintl, Fr. Die Zündwaren und Explosivstoffe. Wien 1873.  
 Uppmann, F. Das Schiefspulver, dessen Geschichte, Fabrikation, Eigenschaften und Proben. Braunschweig 1874.  
 Mahler, J. Die moderne Sprengtechnik mit ihren wesentlichen Hilfsmitteln. Wien 1876.  
 Trauzl. Die Dynamite, ihre Eigenschaften und Gebrauchsweise. Wien 1876.  
 Trauzl. Dynamite, ihre ökonomische Bedeutung und ihre Gefährlichkeit. Wien 1876.  
 Krause. Die moderne Sprengtechnik. Leipzig 1881.  
 Guttmann, O. Handbuch der Sprengarbeiten. Braunschweig 1892.  
 Hausermann. Sprengstoffe und Zündwaren. Übersicht über die bis zum 26. Juni 1893 ausgegebenen Patentschriften. Stuttgart 1894.  
 Guttmann, O. Die Industrie der Explosionsstoffe. Braunschweig 1895.  
 Böckmann, Fr. Die explosiven Stoffe und deren praktische Anwendung. Wien 1895.  
 v. Romocki, S. J. Geschichte der Explosivstoffe. Hannover 1895 u. 1896.

## b) In Zeitschriften.

- Cofsmann. Notizen über Einführung der Bohr- und Schiefsarbeit. Berggeist 1861, S. 256.  
 v. Rittinger. Über eine neue Elektrisiermaschine zum Sprengen in Bergwerken. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1864, S. 138.

- Abegg, Fr. Die Anwendung der elektrischen Zündung beim Steinsprengen. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1867, S. 11.
- Vergleichende Kosten von Dynamit und Schiefspulver bei Sprengarbeiten. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1874, S. 47.
- Über die Anwendung der elektrischen Zündung beim Schachtabteufen. Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1874, S. 404.
- Über die Sprengtechnik der Neuzeit. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1875, S. 74.
- Hefs, Ph. Über die Bestimmung der Entzündungstemperatur explosiver Stoffe. Polyt. Journ. 1875, Bd. 218, S. 227.
- Bürgin, E. Der Minen-Zündapparat. Eisenbahn 1876, S. 59.
- Rziha, Fr. Die kulturelle Bedeutung der Sprengarbeit. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1878.
- Versuche mit komprimierter Schiefsbaumwolle. Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1878, S. 389.
- Hefs, Ph. Über Erprobung der chemischen Beständigkeit von Explosivstoffen. Mitteilungen über Artillerie- und Geniewesen 1879, S. 345.
- Niederstadt, C. Über Sprengstoffe, insbesondere über Nitroglycerin. Polyt. Journ. 1879, Bd. 233, S. 75.
- Über das Auftauen des gefrorenen Dynamits im Wasserbade. Ann. des ponts et chaussées 1879, Juli, S. 52.
- Brinckmann. Über Sprengtechnik (Vortrag). Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1880, S. 15.
- Versuche mit komprimiertem Sprengpulver in den Gruben bei Essen. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1880, S. 242.
- Sprengsalpeter. Deutsche Industrie-Zeitung 1880, S. 115.
- Lauer, J. Bestimmung der Dynamit-Ladungen für Bohrschüsse; Apparate zur Messung der Vorgaben. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1880, S. 153.
- Nobel, A. Komprimiertes Mehlpulver, ein vorzügliches Sprengmaterial. Deutsche allgemeine polyt. Zeitung 1881, S. 405.
- Die Nobel'sche Sprenggelatine und das Gelatinedynamit. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1881, S. 498.
- Gautert, F. Über neue Sprengmittel und ihre Anwendung in der Technik. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1881, S. 22 u. a.
- Über eine Selbstentzündung von Nitroglycerin-Präparaten. Deutsche Industrie-Zeitung 1882, S. 84.
- Münch, H. Über Dynamit. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1882, S. 77.
- Über die Wirkung verschiedener Sprengstoffe. Techn. Blätter 1882, S. 249.
- Nordenström und Conquist. Über Nitroglycerin und verwandte Sprengstoffe, Fabrikation, Verwendung u. s. w. Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1882, S. 260.
- Lunye, G. Analysen von Guhr- und Gelatinedynamiten. Polyt. Journ. 1882, Bd. 245, S. 171.
- Makuc. Mitteilungen über die neuen Sprengmittel mit besonderer Berücksichtigung ihrer Verwendung in Bleiberg. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1882, Mai, S. 228.
- Über Unglücksfälle bei Verwendung von Sprengstoffen. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1882, S. 225.
- Über die Eigenschaft des Kieselguhrdynamits, beim Übergange aus dem gefrorenen in den weichen Zustand einen Teil des Sprenggüls auszuschwitzen. Mitteilungen über Artillerie- und Geniewesen 1883, Heft 5, Notizen, S. 85.
- Guttman's Kraftmesser für Sprengstoffe. Dingler's polyt. Journ. 1883, Bd. 250, Heft 3, S. 118; 1885, Bd. 257, S. 295.
- Guttman, O. Über Versuche mit geprefster Schiefswolle. Polyt. Journ. 1883, Bd. 250, S. 456.
- Normalien für Dynamitproben. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1883, S. 144.
- Tetmajer. Über die Nobel'schen Nitroglycerin-Präparate. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1883, S. 295.
- Trauzl. Über neue Sprengmittel. Verhandl. des Vereins zur Beförderung des Gewerbefleißes in Preußen 1883, Heft 1 (Auszug s. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1884, S. 242).
- Kraft der Sprengmittel. Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1885, S. 44.
- Habermann, J. Vergleichende Sprengversuche mit verschiedenen Sprengstoffen. Leobener Jahrb. 1885, Bd. 33, S. 145.
- Neuheiten in der Sprengstoff-Industrie und Sprengtechnik. Polyt. Journ. 1884 u. 1885, Bd. 251—258.
- v. Rziha. Die mechanische Arbeit der Sprengstoffe. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1886, S. 19; Glaser's Annalen 1886, I. S. 233.
- Sprengung einer Felsmasse am Eingang des Tunnels von St. Sulpice. Schweiz. Bauztg. 1886, II. S. 116.
- v. Rziha. Das Gesetz der Gesteinsverspannung. Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 395.
- Höfer. Der Wirkungsgrad der Sprengmittel bei der Sprengarbeit. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1887, S. 15.
- Lauer's Reibungszünder. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1887, S. 127.
- Müller. Neue Versuche zur Demonstration der Wirkungsweise von Sprengstoffen. Zeitschr. f. d. phys. u. chem. Unterricht 1889, S. 170.
- Zettler. Magnetelektrischer Zündapparat für die Sprengtechnik. Centralbl. f. Elektrotechnik 1889, S. 20.
- Bielefeld. Die neuen Sicherheitssprengstoffe. Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1890, S. 145.

Conquist. Über das Verhalten des Nitroglycerinsprengstoffes in der Kälte. Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1894, S. 221.

Pilar. Sicherheitssprengstoffe. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1894, S. 439.

Raps. Elektrische Minenzündung. Elektrotechn. Zeitschr. 1896, S. 443.

Wenderoth. Elektrische Zündmethoden. Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1897, S. 245.

Heise. Fortschritte auf dem Gebiete der elektrischen Zündung von Sprengschüssen. „Glückauf“ 1897, S. 157.

Rufsner. Neuer Sprengstoff zum Ersatz für Sprengpulver. Schweiz. Bauztg. 1898, Bd. 31, S. 113.

Beiträge zur Frage der Durchschlagsicherheit innerer Zündvorrichtungen. Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1899, S. 323.

### C. Das Maschinenbohren.

**§ 25. Bedeutung des Maschinenbohrens.** Bei der Sprengarbeit mit Handbohrung in festem Gestein entfällt der größte Teil der aufzuwendenden Zeit und der zu bestreitenden Kosten auf die Herstellung der Bohrlöcher. Dadurch wird der Gedanke nahegelegt, diesen Teil der Arbeit durch Zuhilfenahme von Maschinen abzukürzen, sowie auch billiger zu gestalten, als dies bei ausschließlicher Verwendung der teureren und nur zum kleinen Teil — nach Dr. Stapff nur etwa zu  $4\frac{1}{2}\%$  — ausnutzbaren menschlichen Handarbeitsleistung möglich ist. Es sind thatsächlich schon vor mehr als 40 Jahren von einzelnen Ingenieuren, wie z. B. von Cavé, Bartlett, Schwarzkopff, Schumann u. s. w. Maschinen für diesen Zweck gebaut worden, ohne jedoch schon damals durchgreifenden Erfolg zu erzielen. Da gab die im August 1857 begonnene Ausführung des Mont Cenis-Tunnels eine mächtige Anregung zu weiteren Versuchen auf diesem Gebiete, und hierbei gelang dem italienischen Ingenieur Germano Sommeiller nach jahrelangen Bemühungen die Herstellung einer Maschine, die an der glücklichen Durchführung des großen Werkes einen hervorragenden Anteil gewann.<sup>23)</sup> Am 12. Januar 1861 begann die Maschinenarbeit auf der italienischen Seite, am 25. Januar 1863 auf der französischen Seite; bis zum 25. Dezember 1870 wurde mit Hilfe der Maschine der Richtstollen des Tunnels in einer Länge von 10600 m aufgeföhren und dadurch die Möglichkeit geschaffen, den 12,2 km langen Tunnel in der Hälfte der programm-mäßig dafür vorgesehenen Zeit zu vollenden.<sup>24)</sup> Es war damit ein Erfolg erzielt, der den praktischen Wert des Maschinenbohrens aufser allen Zweifel setzte.

Die Sommeiller'sche Maschine blieb nicht lange vereinzelt; der Erfindungsgeist wurde in hervorragendem Mafse diesem Felde der Technik zugewandt und es entstand eine erhebliche Anzahl Bohrmaschinen der verschiedensten Bauart, die zum Teil eine ausgebreitete Anwendung finden.

Der wesentliche Vorteil der Maschinenbohrung liegt in der größeren Schnelligkeit des Vordringens. Sie kann gegenüber dem Handbetriebe wenigstens auf das Zwei-

<sup>23)</sup> Es verdient hier hervorgehoben zu werden, dafs fast zu derselben Zeit auch von einem deutschen Ingenieur, dem Strombaudirektor Hipp in Koblenz eine praktisch brauchbare Bohrmaschine für die Felssprengungen im Bette des Rheins zwischen Bingen und Koblenz gebaut wurde, die seit dem Jahre 1863 bis in die neueste Zeit mit gutem Erfolg Verwendung gefunden hat. Die Maschine ist eine mit Dampf betriebene Fallbohrmaschine, bei der das bis zu 5 m lange Bohrgestänge, das unmittelbar an dem Dampfkolben befestigt ist, mittels Dampfdruck 0,3 m hoch gehoben wird, um frei abzufallen. Das Gestänge hat ein Gewicht von 150 bis 200 kg. Die Maschine macht in der Minute 110 bis 130 Hübe und braucht zur Herstellung eines Loches von 8 cm Durchmesser und 0,5 bis 1 m Tiefe in fester Grauwacke 10 bis 15 Minuten Zeit. Es wurden mit dieser Maschine täglich 8 bis 10 Bohrlöcher von 1 bis 1,8 m Tiefe hergestellt. Vergl. Zeitschr. f. Bauw. 1867, S. 117.

<sup>24)</sup> Der Beginn der ganzen Arbeit fand statt am 14. Oktober 1858, der Stollendurchschlag am 25. Dez. 1870, die Eröffnung am 17. September 1871. In Aussicht genommen waren 25 Jahre, also ist genau die Hälfte der Zeit erspart worden.

bis Dreifache angeschlagen, bei guter Anordnung und Einübung — nötigenfalls unter Aufwendung größerer Betriebskosten — aber noch erheblich gesteigert werden.<sup>25)</sup> Je nach der Größe des Baues kann der durch dieses schnelle Vordringen erreichte Zeitgewinn von solchem Werte sein, daß dadurch selbst höhere Einheitskosten f. d. Kubikmeter der gesprengten Masse aufgewogen werden. Es wird dies bei allen größeren Tunnelbauten, von deren Fertigstellung die frühere oder spätere Betriebseröffnung einer Bahnstrecke abhängig ist, der Fall sein und es werden thatsächlich in neuerer Zeit die Richtstollen aller längeren Tunnel mit Hilfe von Bohrmaschinen aufgeföhren. Auch hat die Anwendung des Maschinenbohrens bei Herstellung von Schächten und Stollen zu bergbaulichen Zwecken weite Verbreitung gefunden.

Es erscheint sonach erforderlich, an dieser Stelle die Maschinenbohrung mit Übergewung ihrer nur noch geschichtlich bemerkenswerten Anfänge in ihrem jetzigen Stande übersichtlich darzustellen.

**§ 26. Grundzüge des Maschinenbohrens.** Die Herstellung der Bohrlöcher mittels Maschinen geschieht auf zweierlei Art. Entweder wird der Bohrer auf das Gestein gestofsen unter Umsetzen des Bohrers bei jedem Stofe, oder er dringt unter beständigem Druck mit einer drehenden Bewegung in das Gestein ein. Hiernach unterscheidet man die beiden Hauptarten von Gesteinsbohrmaschinen als Stofsbohrmaschinen und Drehbohrmaschinen.

1. Die Stofsbohrmaschinen können wieder nach zwei verschiedenen Grundsätzen gebaut werden. In dem einen Falle ahmt die Maschine das Bohren von Hand mit Bohrstahl und Fäustel, wie es im Berg- und Tunnelbau meist ausgeübt wird, nach, indem ein vom Bohrer getrennter Kolben auf den Bohrer schlägt. Derartige Bohrmaschinen nennt man Hammermaschinen. Sie sind wiederholt ausgeführt worden, haben aber wegen durchaus ungenügender Leistung kaum Eingang gefunden. In dem anderen Falle wird durch die Maschine das sogenannte „Stofsbohren“ nachgeahmt, wie es namentlich bei der Handarbeit im Steinbruchbetrieb üblich ist und wobei die schwere Bohrstange von Hand gehoben und auf das Gestein gestofsen wird. Während das Stofsbohren von Hand nur bei nahezu senkrecht nach unten gehenden Bohrlöchern angewendet werden kann, wird das Stofsbohren mit der Maschine ohne Schwierigkeit nach jeder beliebigen Richtung, auch senkrecht nach oben, betrieben. Hierbei ist der Bohrer durch einen besonderen Bohrschuh mit dem Kolben der Maschine verbunden. Die nach diesem Grundsatz ausgeführten Bohrmaschinen haben weitaus die meiste Anwendung im Berg- und Tunnelbau gefunden, sie lassen sich allen vorkommenden praktischen Bedürfnissen anpassen.

2. Auch die Drehbohrmaschinen werden nach zwei verschiedenen Grundsätzen ausgeführt. In dem einen Fall wird ein schraubenförmiger Bohrer, sogenannter Schlang Bohrer, unter geringem Druck und unter mäfsig rasch drehender Bewegung in verhältnismäfsig mildes Gestein hineingeföhrt, wie z. B. bei fast allen Hand-Gesteinsbohrmaschinen und den elektrisch angetriebenen Drehbohrmaschinen. Im anderen Fall wird der Bohrer mit grossem Druck und unter langsam drehender Bewegung auf das Gestein geprefst. Die hierbei meist als Hohlbohrer ausgebildete Bohrkronen, der durch das hohle Bohrgestänge Druckwasser zum Ausspülen des Bohrmehls zugeföhrt wird, dringt

<sup>25)</sup> Im Richtstollen des St. Gotthard-Tunnels wurde z. B. ein Fortschritt bis zu 5 m f. d. Tag (im Jahre 1878 im Mittel rund 3,5 m) erzielt, während unter gleichen Umständen bei Handbohrung rund  $\frac{3}{4}$  bis höchstens 1 m hätte erreicht werden können.

keilend und zermalmend in das Gestein ein. Nach diesem Grundsatz ist z. B. die Brandt'sche Drehbohrmaschine, die durch Druckwasser angetrieben wird, ausgeführt.

3. Als Betriebskraft für Gesteinsbohrmaschinen kommt Dampf, Druckluft, Druckwasser und Elektrizität zur Verwendung. Dampf eignet sich hierfür weniger und kommt auch nur bei Tagebauten in Frage. Bei solchen wird Dampf, namentlich in Amerika in Steinbrüchen vielfach zum Betriebe gewöhnlicher Druckluft-Bohrmaschinen benutzt. Einer allgemeineren Anwendung des Dampfbetriebes für die Bohrmaschinen steht deren starke Erhitzung durch den Dampf und die Ausströmung desselben entgegen. Diese Übelstände, die für die Handhabung der Maschinen sehr störend und unbequem sind, fallen bei Verwendung von Druckluft als Betriebskraft weg und beim Bohrbetrieb unter Tage, wo der Dampf ganz ausgeschlossen ist, kommt namentlich der Vorteil zur Geltung, daß die aus der Bohrmaschine kalt austretende Luft noch zur Abkühlung und Belüftung der Arbeitsstelle beiträgt. Die Stofsbohrmaschinen (teilweise auch die Drehbohrmaschinen) werden daher in der ausgedehntesten Weise mit Druckluft betrieben. Eine unmittelbare Verwendung von Druckwasser zum Antrieb von Stofsbohrmaschinen findet nicht statt. Dagegen wird die Brandt'sche Drehbohrmaschine ausschließlich mit Druckwasser angetrieben. Elektrischer Antrieb wird sowohl bei Stofsbohrmaschinen, als auch bei Drehbohrmaschinen angewendet. Bei letzteren geschieht dies namentlich bei den nach Art der Handbohrmaschinen mit Schlangenbohrern ausgerüsteten Drehbohrmaschinen, die nur für mildes Gebirge, wie Salz, Kohle, weiche Kalksteine u. s. w. geeignet sind.

Der elektrische Antrieb von Stofsbohrmaschinen erfolgt nach zwei grundsätzlich verschiedenen Arten. Bei der einen Art wird die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens durch die Drehung einer Kurbelwelle erzielt, wobei eine mit dem Kolben verbundene starke Spiralfeder eine Veränderung der Hublänge in kleinen Grenzen gestattet. Der Antrieb der Maschine geschieht durch eine biegsame Welle, die durch einen in der Nähe der Bohrmaschine aufgestellten Elektromotor in drehende Bewegung versetzt wird. Eine solche Maschine ist die Kurbel-Stofsbohrmaschine von Siemens und Halske (s. S. 80). Bei der anderen Bauart wird die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens durch fortwährende Ummagnetisierung zweier Spulen (Solenoiden), die den Kolben umgeben und im Gehäuse der Bohrmaschine untergebracht sind, erzeugt. In dieser Weise ist die Stofsbohrmaschine der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft in Berlin gebaut (s. S. 81). Beide Maschinenarten finden in neuerer Zeit namentlich im Bergbau vielfache Anwendung, während es bisher noch an Erfahrung fehlt, ob mit ihnen in sehr festem Gestein wirklich bedeutende Fortschrittsleistungen zu erzielen sind, wie solche mit guten Druckluft- oder den Brandt'schen Druckwasser-Bohrmaschinen erreicht werden und bei großen Tunnelbauten gefordert werden müssen. Es ist eben noch nicht gelungen, bei den elektrischen Bohrmaschinen eine für alle Fälle genügende Schlagkraft in gleicher Stärke zu erreichen, wie sie guten Druckluftmaschinen eigen ist. Wenn es sich also darum handelt, wirklich bedeutende Leistungen in festem Gebirge mit Sicherheit zu erreichen, so ist man nach den bisherigen Erfahrungen immer noch genötigt, die Druckluft-Bohrmaschinen oder die Brandt'schen Druckwasser-Bohrmaschinen zu verwenden. Mit diesen beiden Arten von Bohrmaschinen können im allgemeinen gleich gute Fortschrittsleistungen auch in festestem Gestein erzielt werden.

Im Bergbau finden neben den elektrischen Maschinen die Druckluft-Bohrmaschinen ausgedehntere Verwendung, als die Brandt'schen Druckwasser-Bohrmaschinen, weil jene meist in Anlage und Betrieb billiger sind und weil die Druckluft, wie auch die Elektrizität

ohnehin im Bergbau häufig schon zu anderen Zwecken, wie zum Antrieb von Haspeln und Ventilatoren benutzt werden. Außerdem trägt die von den Druckluft-Bohrmaschinen ausströmende Luft zur Belüftung der Arbeitsstelle bei, während das von der Brandt'schen Bohrmaschine abfließende Wasser im Grubenbetrieb sehr unbequem ist und oft besondere Anlagen zur Hebung des verbrauchten Wassers nötig werden. Dieser Übelstand der Druckwasser-Bohrmaschine liegt im Tunnelbau meist nicht vor, weil das verbrauchte Wasser in der Regel frei abfließen kann. Bei größeren Tunnelbauten finden daher auch die Brandt'schen hydraulischen Bohrmaschinen ausgedehnte Anwendung. Wenn jedoch Wert darauf gelegt wird, nicht nur den Sohlenstollen, sondern auch den Firststollen und den Vollausschub mittels Bohrmaschinen herzustellen, so dürfte sich die Verwendung der Druckluft-Bohrmaschinen mehr empfehlen, weil es bei der größeren Handlichkeit dieser Maschinen weniger Schwierigkeit macht, sie auch hierbei mit gutem Erfolg zu verwenden und somit fast jede Handbohrarbeit zu vermeiden. Dies ist namentlich bei sehr festen Gebirgsarten von Wichtigkeit.

Als Kraftquelle steht für die Maschinenbohrung in den meisten Fällen Dampf, in gebirgigen Gegenden oft auch Wasserkraft zur Verfügung. Wo Dampfkraft vorhanden ist, wird diese bei Druckluftbohrung zum Antrieb einer Luftpumpe (Kompressor) verwendet, welche Druckluft von 4 bis 6 Atmosphären Überdruck erzeugt, die in schmiedeeisernen Rohrleitungen nach den Bohrmaschinen geführt wird. Bei hydraulischer Bohrung wird die Dampfkraft zur Erzeugung von Druckwasser zum Betriebe der Brandt'schen hydraulischen Bohrmaschinen benutzt. Das Wasser wird dann durch Druckpumpen auf den für den Bohrbetrieb erforderlichen Druck von 50 bis 100 Atmosphären gepresst und meistens in Mannesmann-Röhren nach der Arbeitsstelle geleitet. Liegt die Arbeitsstelle einige hundert Meter unter Tage und wird das zu verwendende Betriebswasser von über Tage oder von einer höheren Sohle nach der tieferen Arbeitsstelle geführt, wie es im Bergbau häufig vorkommt, so wird ein gewisser Wasserdruck schon durch die Höhe der Wassersäule erzielt und es braucht die Druckpumpe nur einen Teil des erforderlichen Wasserdruckes zu erzeugen.

Wo Wasserkraft zur Verfügung steht, benutzt man diese meist zum Antrieb einer Turbine. Ist ihre Entfernung von der Arbeitsstelle der Bohrmaschinen nicht zu groß, so ist es zweckmäßig, die Druckpumpenanlage neben der Turbine zu errichten und die Druckluft oder das Druckwasser nach der Arbeitsstelle zu leiten. Hat man aber mit größerer Entfernung von der Turbine bis zur Arbeitsstelle zu rechnen, so ist elektrische Kraftübertragung meist besser am Platze. In diesem Falle werden die in der Nähe der Arbeitsstelle befindlichen Druckluft- oder Druckwasserpumpen durch Elektromotoren angetrieben.

**§ 27. Allgemeines über Druckluft-Stoßbohrmaschinen.** Die für die Bohrmaschinen erforderliche Druckluft wird beim Tunnelbau möglichst in der Nähe des Tunneleingangs durch Druckluftpumpen erzeugt, zunächst einem größeren Luftkessel und von da den einzelnen Arbeitsstellen durch schmiedeeiserne Rohrleitungen zugeführt. Beim Bohrbetrieb von einem Schacht aus wird die Druckluftpumpe in der Regel über Tage in der Nähe der Dampfkesselanlage aufgestellt.

Die Bohrmaschinen sind so gebaut, daß die Druckluft, wie der Dampf bei Dampfmaschinen, in einen Cylinder tritt und in diesem einen Kolben in hin- und hergehende Bewegung versetzt, indem die Druckluft mittels einer Steuerung abwechselungsweise auf die Vorder- und Rückseite des Kolbens wirkt.

Der Bohrer wird entweder unmittelbar oder durch einen sogenannten Bohrschuh mit dem Kolben der Bohrmaschine verbunden. Außerdem hat die Maschine eine besondere Vorrichtung zum Drehen des Bohrers um seine Achse zwischen den einzelnen Schlägen, also zum „Setzen“ des Bohrers.

Ferner ist eine Einrichtung zum allmählichen Vorwärtsschieben der Bohrmaschine, entsprechend dem Eindringen des Bohrers in das Gestein, also für den „Vorschub“ getroffen.

Die Bohrmaschinen erhalten im Verhältnis zur Größe ihrer Kraftübertragung sehr kleine Abmessungen in gedrungener Form und arbeiten mit verhältnismäßig großer Geschwindigkeit, meistens mit 300 bis 500 Kolbenstößen in der Minute.

Wenn die Stofsbohrmaschine das Handbohren vollständig ersetzen soll, so ist eine vierfache Bewegung derselben erforderlich und zwar:

1. Eine hin- und hergehende Bewegung des mit dem Kolben verbundenen Bohrers. Diese Bewegung muß so geregelt werden, daß der Bohrer das zu lochende Gestein beim Hingang mit möglichst heftigem Schläge trifft, während beim Rückgang nur soviel Kraft in Anwendung zu bringen ist, als beim Zurückziehen des Kolbens und zur Überwindung der Reibung des Bohrers im Bohrloch erforderlich ist. Man nennt dies die „Stofsbewegung“ der Maschine.
2. Eine drehende Bewegung des Bohrers um seine Achse bei jedem Rückgang, damit die Bohrschneide in stets geänderter Lage auf der Sohle des Bohrloches aufsetzt. Diese Bewegung nennt man, wie bei der Handbohrung, das „Setzen“ des Bohrers.
3. Eine fortschreitende Bewegung der ganzen Maschine, den „Vorschub“, damit die Schneide des Bohrers bei wachsender Lochtiefe stets wirksam auf die Sohle des Bohrloches stößt.
4. Eine rückgehende Bewegung der ganzen Maschine, den „Rückgang“, um neue Bohrer einzuwechseln oder nach Herstellung eines Loches die Arbeit für ein neues zu beginnen.

Diese vier Bewegungen können entweder sämtlich selbstthätig durch die Maschine oder teilweise selbstthätig und teilweise von Hand ausgeführt werden. Es sind sinnreiche Bohrmaschinen gebaut worden, bei denen alle vier Bewegungen selbstthätig durch die Maschine ausgeführt werden. Derartige Maschinen rücken ganz selbstthätig bei Erreichung des längsten Kolbenhubes ein Stück vor und dieses Vorschieben wiederholt sich immer wieder, sobald das Loch um einige Centimeter tiefer geworden ist. Zum Rückgang der Maschine braucht bei einzelnen Bauarten nur ein Lufthahn geöffnet zu werden, um die Maschine selbstthätig bis zu einem beliebigen Punkt zurückgehen zu lassen. Derartige Maschinen haben sich jedoch in der Praxis nicht dauernd eingebürgert, weil der selbstthätige Vor- und Rückgang sich wohl in einfacher Weise, aber nur durch verhältnismäßig empfindliche Mechanismen erreichen läßt, die häufige Ausbesserungen nötig machen und keine entsprechenden Vorteile für die Leistungsfähigkeit der Bohrmaschine bieten. Eine gewisse Einfachheit in der Bauart hat sich immer mehr als Grundbedingung für die dauernde Leistungsfähigkeit einer Stofsbohrmaschine herausgestellt. Außerdem führt der selbstthätige Vor- und Rückgang der Maschine gar keine Ersparnis an Bedienungsmannschaft herbei. Die Anzahl der zur Bedienung erforderlichen Arbeiter wird lediglich durch das Richten der Bohrmaschine und durch das häufig erforderliche Auswechseln der Bohrer bedingt, während das Vor- und Zurückdrehen der Maschine eine verhältnismäßig leichte Arbeit ist, die keine Vermehrung der Bedienungs-

mannschaft erfordert. So kommt es, daß bei den gebräuchlichsten und leistungsfähigsten Stofsbohrmaschinen nur die unter 1. und 2. aufgeführten Bewegungen selbstthätig von der Maschine ausgeführt werden.

Nach dem Standpunkt der bisherigen Erfahrungen sind an eine gute Stofsbohrmaschine nachstehende Anforderungen zu stellen:

- a) Die „Stofsbewegung“ der Maschine und das „Setzen“ des Bohrers müssen selbstthätig und unabhängig von der Hand des Arbeiters erfolgen.
- b) Der Hub der Maschine muß veränderlich sein. Sowohl beim Vorschub von Hand, als auch beim selbstthätigen Vorschub durch die Maschine ist es nötig, daß der Hub innerhalb gewisser Grenzen veränderlich ist, damit das Triebwerk für den Vorschub nicht unbedingt jeden Augenblick im Gang sein muß. Während der Bohrarbeit ist der den Vorschub besorgende Arbeiter oft kurze Zeit mit anderen Dingen, Richten der Maschine, Feststellen der Bohrsäule, Aussuchen passender Bohrer zum Auswechseln und dergleichen beschäftigt. Während einer kurzen Zeit muß daher die Maschine ohne irgend welche Bedienung unter Verlängerung des Hubs weiter arbeiten können. Außerdem ist es für das Herauswerfen des Bohrmehls aus dem Bohrloch, namentlich in mildem Gebirge, in das der Bohrer rasch eindringt, häufig erwünscht, mit der Hublänge und dadurch mit der Schlagstärke wechseln zu können. Es ist dies durch plötzliches Verschieben oder Zurückdrehen der Maschine möglich, wenn der Hub veränderlich ist. Die Steuerung der Maschine muß daher so eingerichtet sein, daß diese Veränderlichkeit des Hubs in gewissen Grenzen möglich ist. Diese Bedingung ist die wichtigste für die Konstruktion einer Stofsbohrmaschine und beim Vergleich von verschiedenen Bohrmaschinen wird sich immer zeigen, daß unter sonst gleichen Verhältnissen diejenige Maschine die leistungsfähigere ist, die die größere Veränderlichkeit in der Hublänge zuläßt.
- c) Die Maschine muß für einen möglichst niedrigen Arbeitsdruck gebaut sein. Da die Bohrmaschinen meistens ohne Expansion arbeiten, weil die bei einer Expansionsmaschine erzielbare Luftersparnis in keinem Verhältnis steht zu der dadurch entstehenden umständlicheren Bauart, wird diejenige Maschine den Vorzug verdienen, die unter sonst gleichen Verhältnissen dieselbe Leistung bei niedrigerer Pressung der Luft ausübt. Es fällt dies um so mehr ins Gewicht, als sich die Kosten der höher gepressten Luft in rasch zunehmendem Verhältnis steigern. Außerdem entstehen durch Undichtigkeiten in der Steuerung und namentlich zwischen Kolben und Cylinder bei höherer Luftpressung weit größere Verluste als bei geringerer Luftpressung. Eine untere Grenze in der Luftpressung ist natürlich dadurch gegeben, daß bei zu geringer Pressung der Luft die Kanäle für die Luftzuführung und die Cylinderabmessungen so groß sein mußten, daß die Maschine zu schwer und unhandlich ausfallen würde. Bei dem jetzigen Stand der Bohrmaschinenteknik verlangt man im allgemeinen, daß die Maschine bei 4 bis 6 Atmosphären Überdruck in der Luftpressung ihre höchste Leistung aufweist, während sie andererseits auch noch bei  $2\frac{1}{2}$  Atmosphären Überdruck eine die Handbohrung erheblich überschreitende Arbeitsleistung haben muß.

- d) Die Maschine muß sehr stark gebaut sein und dabei doch möglichst wenig Raum einnehmen. Bei den heftigen Stößen, die eine Bohrmaschine auszuhalten hat, ist es besonders wichtig, die einzelnen Teile so stark zu machen, daß ein Bruch eines Maschinenteiles nicht leicht vorkommen kann. Bei dem üblichen Gewicht handlicher Stofsbohrmaschinen von 60 bis 150 kg ist dies außer durch zweckmäßige Bauart nur durch Verwendung besonders festen Materials zu erreichen. Es empfiehlt sich daher, die gegossenen Teile aus Stahlguss und die geschmiedeten Teile aus Tiegelgussstahl herzustellen.
- e) Der zur Ausübung des Schlages dienende Teil muß leicht sein. Früher ist häufig gerade die entgegengesetzte Forderung aufgestellt worden, in der irrtümlichen Meinung, daß die Schlaggeschwindigkeit nicht zu groß sein dürfe. Es hat sich aber in der Praxis herausgestellt, daß die Wirkung beim Bohren günstiger wird, je größer die Schlaggeschwindigkeit ist. Außerdem hat es sich gezeigt, daß in mildem Gebirge, wo der Bohrer beim einzelnen Schlag verhältnismäßig tief eindringt, bei schwerem Kolben der Bohrer sich viel leichter festsetzt, als dies bei leichtem Kolben der Fall ist, und daß bei schwerem Kolben der Rückgang des Kolbens viel zu langsam vor sich geht, sobald der Bohrer im Bohrloch einen verhältnismäßig großen Reibungswiderstand zu überwinden hat.
- f) Die Zahl der beweglichen Teile einer Bohrmaschine soll möglichst gering sein. Je größer die Zahl der beweglichen Teile ist, desto mehr liegt bei den heftigen Stößen, die eine solche Maschine auszuhalten hat, die Gefahr des Brechens eines Maschinenteiles vor und desto mehr Teile sind der regelmäßigen Abnutzung unterworfen. Außerdem ist es notwendig, die Steuerungsteile und die Setzvorrichtung ganz in das Innere der Maschine zu verlegen, um diese Teile gegen das Eindringen von Bohrstaub und Wasser zu schützen.
- g) Alle dem Verschleiß unterworfenen Teile einer Bohrmaschine müssen leicht auswechselbar sein. Um die Maschine stets betriebsfähig zu erhalten, ist es wichtig, daß das Auswechseln gebrochener oder abgenutzter Teile ohne großen Zeitaufwand und von wenig geübten Leuten ausgeführt werden kann.
- h) Die Bewegung des Kolbens darf weder im Vor- noch Rückgang auf die Steuerungsteile der Maschine übertragen werden. Die Setzvorrichtung der Maschine darf nur beim Rückgang, nicht aber beim Vorstoß des Kolbens in Tätigkeit treten.

Diese Bedingungen sind sowohl für die Schlagstärke als auch für die Haltbarkeit der Maschine von der größten Wichtigkeit.

**§ 28. Beschreibung einiger Druckluft-Stofsbohrmaschinen.** Bei der großen Zahl der vorhandenen Druckluft-Stofsbohrmaschinen muß des knappen Raumes wegen die Beschreibung auf diejenigen beschränkt werden, die gegenwärtig vorzugsweise Verbreitung gefunden haben, oder die besondere Bauarten aufweisen und die geeignet erscheinen, ein möglichst klares Bild von dem Stande der jetzigen Bohrtechnik zu geben. Eines Urteils über die einzelnen Maschinen glauben wir uns nach dem vorstehend Gesagten enthalten zu dürfen.

1. Die Bohrmaschine von Ferroux, in der in den letzten Baujahren des Gotthard-Tunnels angewandten Bauart (Fig. 24 u. 25), bekannt als Modell 3. Die Maschine besitzt zwei voneinander liegende Cylinder, von denen der eine, der Hauptcylinder, die Stosswirkung vermittelt, während der andere (links angegeben), der fest mit dem Gestellrahmen *AA* verbunden ist, für den Vorschub des auf dem Rahmen *AA* gleitenden Hauptcylinders bestimmt ist.

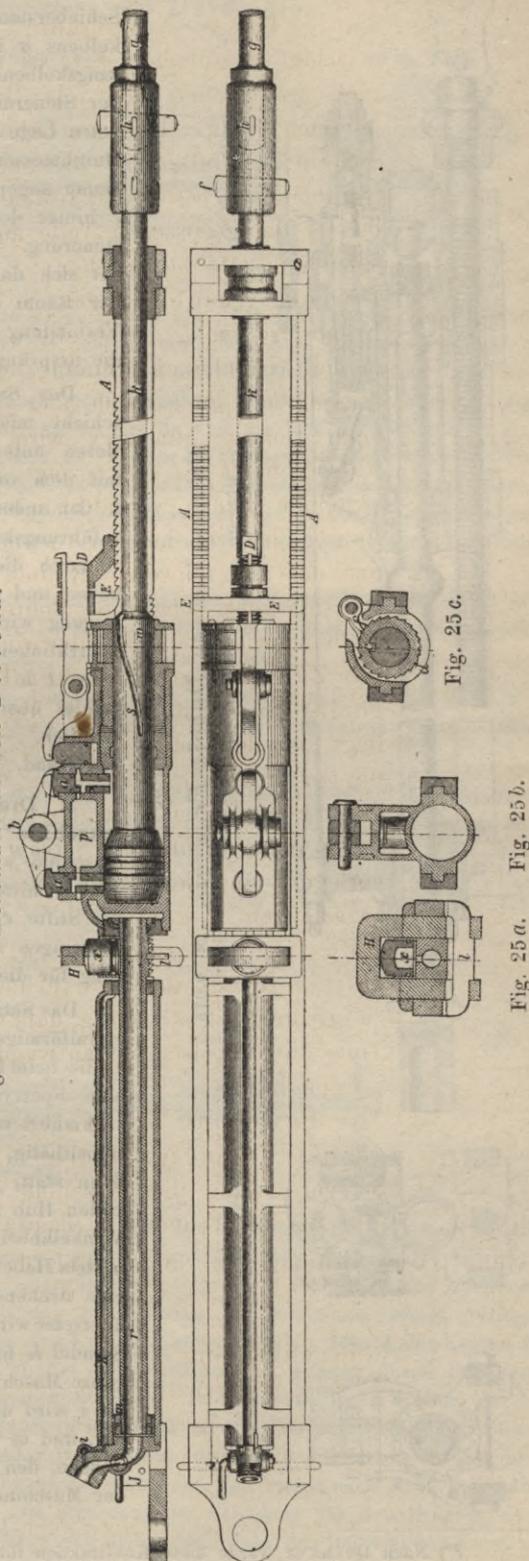
Die Druckluft, durch den Hahn *J* eingeführt, preßt beständig hinter den Vorschubkolben *m* und wird gleichzeitig durch die hohle Kolbenstange *r* desselben, an deren Ende der Cylinder für die Stosswirkung befestigt ist, in den Raum *p* geführt. Von hier aus wird die Verteilung hinter und vor den Stosskolben *w* mittels der hohlen Steuerkolben *aa* und des Hebels *b* bewirkt, indem die Steuerkolben durch den an den Enden konisch abgedrehten Stosskolben bei jedem Hin- und Rückgange abwechselnd gehoben werden, wobei die in den Steuerkolben angebrachten Kanäle die beiden Cylinderhälften abwechselnd mit der Druckluft des Raumes *p* und der atmosphärischen Luft in Verbindung bringen.

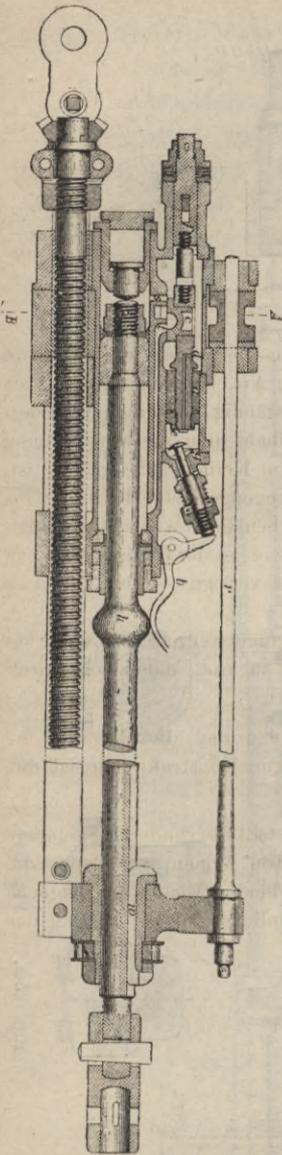
Macht der Kolben *w* seinen längsten Hub, so hebt der verstärkte Teil der Kolbenstange den Daumen *D* und damit die Sperrklinke *E* aus den Zahnstangen des Rahmens *AA*, die Folge ist, daß durch die Wirkung der Druckluft auf den Vorschubkolben *m* der Hauptcylinder vorgeschoben wird. Den Rücklauf verhindert die Gabel *H* und der mit ihr verbundene Anker *l*, indem letzterer durch den Kolben *x*, dessen Unterfläche mit der Druckluft in ununterbrochener Verbindung steht, in die Zähne an der Unterseite des Rahmens *AA* eingedrückt wird. Für den Rücklauf des Hauptcylinders schließt man den Hahn *J* und bringt durch den Hahn *i* und den Kanal *K* die Hinterseite des Vorschubkolbens *m* mit der Druckluft in Verbindung.

Das Setzen des Bohrers, der mit der Kolbenstange fest verbunden ist, wird durch die in letztere eingeschnittene schraubenförmige Nute *s*, in welche die Feder *c* des Sperrades *d* eingreift, bewirkt. Beim Rückgang des Stosskolbens sucht nämlich die Feder das Sperrad von links nach rechts zu drehen, wird daran aber durch die Klinke *f* gehindert, sodafs sich also der Kolben um die Höhe des Schraubenganges drehen muß, während beim Vorstofs sich das Sperrad um die Kolbenstange dreht.

2. Die Dubois-François-Gesteinsbohrmaschine (Fig. 26, 27 u. 28). Die Steuerung

Fig. 24 u. 25. Bohrmaschine von Ferroux. M. 1:10.





Bohrmaschine von Dubois-François. N. 0,075.  
Fig. 26.

Fig. 26 bis 28.

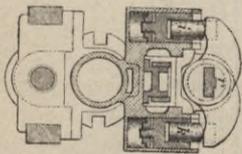


Fig. 27.

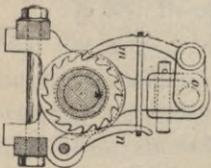


Fig. 28.

für die Stoszbewegung ist eine kombinierte Kolben- und Schiebersteuerung. Die Fläche des rechtsseitigen Steuerungskolbens *a* ist größer, als die Fläche des linksseitigen Steuerungskolbens *f*. Dadurch wird unter der Wirkung der Druckluft der Steuerungsschieber *c* zu Anfang des Stoßes in der gezeichneten Lage gehalten. Durch den Kanal *d* im Kolben *a*, dessen Durchmesser der zweckmäßigsten Tourenzahl durch Versuche genau angepaßt werden muß, füllt sich allmählich der Raum *e* hinter dem Kolben *a* mit Druckluft und bewirkt die Umsteuerung. Sobald aber der Wulst *h* den Hebel *b* bewegt, öffnet sich das Ventil *g*. Dadurch tritt der Raum *e* mit der äußeren Luft in Verbindung und der Schieber kehrt in die ursprüngliche Lage zurück.

Das Setzen des Bohrstaßes geschieht mittels der Kolben *i* und *k*, deren unterer Cylinderraum der eine mit dem vorderen Luftzuführungskanal *t*, der andere mit dem hinteren Luftzuführungskanal *s* in Verbindung stehen, wodurch die Kolben abwechselnd gehoben und gesenkt werden. Diese Bewegung wird mittels der Welle *r*, der Sperrklinken *m* und *n* und des Sperrrades *l* in eine drehende des Bohrstaßes übersetzt, wie aus Fig. 28 ersichtlich. — Der Vorschub geschieht von Hand.

3. Die Ingersoll-Gesteinsbohrmaschine (Fig. 29 u. 30). In dieser Maschine wird die Bewegung des Kolbens *a* mittels der Winkelhebel *bb* und der Stifte *cc* auf den Steuerschieber *d* übertragen und dadurch die Umsteuerung für die Stoszbewegung bewirkt.

Das Setzen geschieht durch die mit spiralförmigen Nuten versehene Stange *e*, die beim Rückgang des Kolbens durch eine Sperrvorrichtung *gl* am Drehen verhindert wird.<sup>26)</sup> — Der Vorschub ist selbstthätig, und zwar findet derselbe dann statt, wenn der Kolben seinen vollen Hub macht, wobei derselbe den Winkelhebel *f* trifft, dessen Bewegung mittels Hebel, Daumen *l* und Sperrrad in eine drehende Bewegung einer Mutter übersetzt wird, die sich dadurch an der Spindel *h* fortbewegt und mit ihr die ganze Maschine. Durch Lösen der Mutter *i* wird die Spindel im Rahmen drehbar, und es dient dann die Handkurbel *m* dazu, den Rücklauf und das Einstellen der Maschine zu bewirken.

Fig. 29 u. 30.

Gesteinsbohrmaschine von Ingersoll.

Fig. 29.

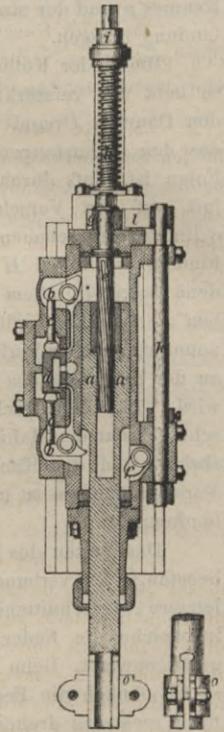
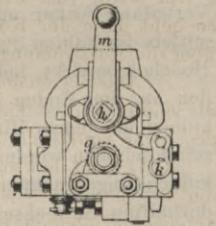


Fig. 30.

<sup>26)</sup> Nach Drinker wurde diese Konstruktion für das Setzen des Bohrers, welche wir in etwas anderer Gestalt bereits bei der beschriebenen neueren Ferroux-Maschine kennen gelernt haben, zuerst von Low in England patentiert (Juli 1865) und später von Döring und Darlington vervollkommenet.

Fig. 31 bis 33. *Gesteinsbohrmaschine von Darlington.*

Fig. 31.

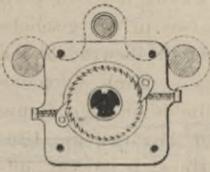
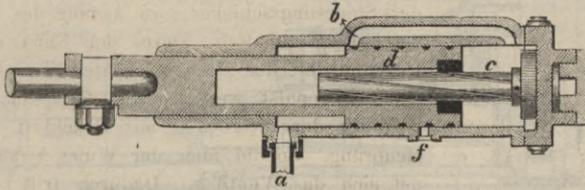
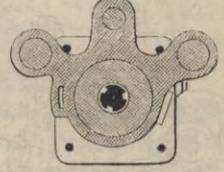
Fig. 32. *Längsschnitt.*

Fig. 33.



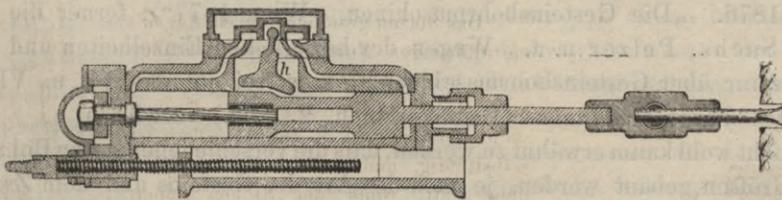
4. Die **Darlington-Gesteinsbohrmaschine** (Fig. 31 bis 33). Die Verteilung der Prefsluft zur Ausführung der Stoßbewegung geschieht hier auf die denkbar einfachste Art, nämlich direkt durch den Kolben selbst. Sie findet durch die Öffnung *a* ihren Einlaß und steht beständig mit dieser Cylinderabteilung in Verbindung. Sie wird also den Kolben nach rechts schieben; sobald aber die Kanalöffnung *b* frei wird, tritt die Druckluft auch in den Cylinderraum *c*, und da hier die Kolbenfläche größer ist, so geht dann der Kolben nach links. Dann bewegt sich der Kolben in entgegengesetzter Richtung bis über die Ausströmungsöffnung *f* hinaus, bis also der Druck auf die vordere Kolbenfläche wieder überwiegt.

Das Setzen des Bohrstahles geschieht hier durch denselben Mechanismus wie bei der *Ingersoll'schen* Maschine, nur ist hier die Sperrvorrichtung in das Innere des Cylinderdeckels verlegt. — Der Vorschub geschieht von Hand.

Leider hat sich diese, was Einfachheit der Konstruktion anlangt, unübertreffbare Maschine in der Praxis nicht bewährt. Ihre Kolbengeschwindigkeit ist zu groß, der Hub zu kurz, daher sehr rasch aufeinanderfolgende Schläge (600 bis 1000 in der Minute) mit geringem Effekt.

Mehrere Konstrukteure haben versucht, diese Übelstände zu vermeiden und die Maschine für den praktischen Gebrauch geeigneter zu gestalten. Eine der besten derartigen Konstruktionen ist die, von der wir nachstehend Beschreibung geben:

5. Die **Rand'sche Gesteinsbohrmaschine** (Fig. 34). Die Druckluft tritt oberhalb des Schiebers in den Schieberkasten. Die Umsteuerung erfolgt durch einen Hebel *h* mit drei Armen, von denen die beiden in den Cylinder hineinragenden Arme durch Wulste, welche an den beiden Enden des Kolbens angebracht sind, hin- und herbewegt werden. Das Setzen geschieht in ähnlicher Weise wie bei der *Darlington'schen* Maschine. Der Vorschub erfolgt von Hand.

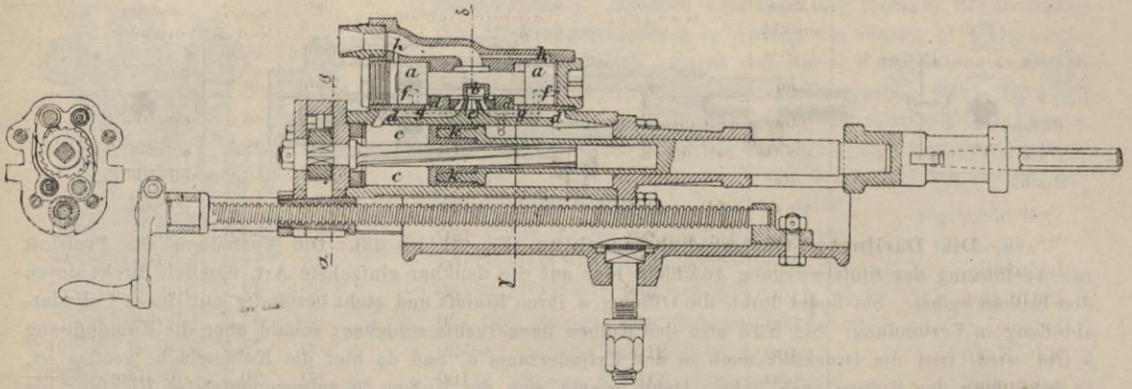
Fig. 34. *Bohrmaschine von Rand.* M. 1:12.

6. **Frölich's Gesteinsbohrmaschine** (Fig. 35 u. 36, S. 76). Die Steuerung des Kolbens wird bei dieser Maschine durch den mit 2 Umsteuerungskolben *aa* fest verbundenen Muschelschieber *b* bewirkt, der sich innerhalb gewisser Grenzen bewegt und bei jedem Hub den Cylinder *c* mittelst der Kanäle *d* und *e* einerseits mit der Druckluft, andererseits mit der Ausströmung in Verbindung bringt. Diese Bewegung wird vermöge der Kanäle *f*, *g*, *h* und *i* durch den Kolben *k* selbst erzielt. Sobald der Kolben *k* beim Hingang die Mündung des Kanals *g* in dem Cylinder überschritten hat, gelangt durch letzteren und den Kanal *f* Druckluft hinter den rechten Umsteuerungskolben. Da nun vor diesem Kolben durch die Kanäle *i*, *d* und *e* die vorhandene Druckluft entwichen ist, während der linke Umsteuerungskolben mittelst der Kanäle *i* und *h* auf beiden Seiten unter Druck steht, so wird der Schieber infolge des Überdrucks, der auf die linksseitige ringförmige Kolbenfläche wirkt, sich von rechts nach links bewegen und somit den Rückgang des Kolbens veranlassen. Die Steuerung des Schiebers für den Hingang des Kolbens erfolgt wiederum, sobald dieser auf seinem Wege von rechts nach links den linksseitigen Kanal *g* geöffnet und ihn hierdurch mit der Druckluft in Verbindung gebracht hat.

Fig. 35 u. 36. Gesteinsbohrmaschine von Frölich.

Fig. 35.

Fig. 36.



Das Setzen geschieht, wie bei den meisten Gesteinsbohrmaschinen, durch eine Drallspindel mit Sperrad, zwei Sperrklinken und zwei Spiralfedern. Im hinteren Teil des Kolbens befindet sich eine auf die Drallspindel aufgefaste Mutter. Der Drall und die Stellung der Klinken und der Zähne des Sperrades sind so angeordnet, dass beim Rückgang des Kolbens die Drallspindel sich nicht drehen kann und daher der Kolben genötigt ist, die hierdurch bedingte Drehung zu machen. Beim Vorgang des Kolbens dagegen ist die Drallspindel an der Drehung nicht gehindert, sodass der Stofs ohne Drehung des Kolbens erfolgt. Vorschub und Rückgang der Maschine im Schlitten auf eine Länge von 550 bis 600 mm geschieht von Hand durch Drehen der Vorschubspindel. Die Maschine wird hauptsächlich in zwei Größen von 75 und 80 mm Cylinderdurchmesser, beide mit 220 mm Hublänge, im Gewicht von 85 und 130 kg, hergestellt. Die Frölich'schen Bohrmaschinen wurden früher mit selbstthätigem Vorschub ausgeführt. Der Einfachheit wegen wird aber seit vielen Jahren der Vorschub von Hand vorgezogen.

Einige andere Maschinen, die sich einer Anwendung erfreuen, mögen hier wenigstens dem Namen nach angeführt werden: Bohrmaschine von Schramm („Über Gesteinsbohrer von Jul. Mahler, Wien“); ferner die Bohrmaschinen von der Union Rock Drill Co., von G. H. Reinholds, von J. B. Waring, von Rob. Allison, von Prof. Wood, von Burleigh (sämtlich beschrieben in A. Riedlers Bericht über die Weltausstellung in Philadelphia 1876. „Die Gesteinsbohrmaschinen. Wien 1877“); ferner die Maschinen von Meyer, Sachs, Pelzer u. a. Wegen der bezüglichen Einzelheiten und wegen der neueren Litteratur über Gesteinsbohrmaschinen u. s. w. sei auf das VI. u. VIII. Kapitel des IV. Bandes dieses Handbuchs (Baumaschinen, 2. Aufl.) verwiesen.

Es braucht wohl kaum erwähnt zu werden, dass die verschiedenen Arten Bohrmaschinen in mehreren Größen gebaut werden, je nach der Art des Gesteins und dem Zwecke, dem sie dienen sollen. So werden, um nur ein Beispiel anzuführen, die Ingersoll-Maschinen in fünf verschiedenen Größen ausgeführt, von 65 mm bis 127 mm Cylinderdurchmesser, welch' letztere beim Bau des Musconetcong-Tunnel in Nordamerika verwandt wurden.

In der Tabelle IX (S. 77) sind die obengenannten Bohrmaschinen mit Angabe ihrer Hauptverhältnisse zusammengestellt, wobei Größen mit möglichst gleichem Cylinderquerschnitt ausgewählt wurden.

**§ 29. Leistung und Kraftbedarf der Druckluft-Stofsbohrmaschinen.** Die Leistung einer Bohrmaschine ist — abgesehen von der mehr oder weniger guten Bauart derselben — abhängig von der Festigkeit des Gesteins, sowie der Spannung und der Menge der verbrauchten Druckluft. In jeder Gesteinsart kann man daher eine bestimmte Bohrleistung, d. h. in gegebener Zeit und bei gegebener Bohrlochweite eine bestimmte

Tabelle IX. Abmessungen und Gewichte verschiedener Stofsbohrmaschinen.

Namen der Bohrmaschinen	Ganze Länge ausschl. Bohrer	Gewicht	Größte Hublänge	Cylin- der- durch- messer	Wirk- same hintere Kolben- fläche	Art des Vorschubes	Länge des Vor- schubes
	mm						kg
Ferroux . . . . .	2300	180 aussch. Bohrer	100 aussch. Bohrer	105	86,6	selbstthätig	620
Dubois-François . . .	2200	240 desgl.	210	70	38,5	von Hand	810
Sachs . . . . .	800	75 desgl.	110	80	50,2	selbstthätig	750
Burleigh . . . . .	1300	85 einschl. Bohrer	114	70	38,5	desgl.	670
Meyer . . . . .	800	150 aussch. „	180	85	56,6	desgl.	600
Ingersoll . . . . .	910	75 einschl. „	100	70	38,5	selbstthätig	480
Darlington . . . . .	1100	60	100	89	62,2	von Hand	450
Frölich . . . . .	600	60	120	65	33,2	selbstthätig	500
Mac Kean . . . . .	2400	215	120	100	78,5	desgl.	800
Schramm . . . . .	950	110	100	80	50,2	von Hand	500
Union Rock Drill . . .	1300	—	110	90	63,6	desgl.	700
Allison . . . . .	1100	—	125	90	63,6	selbstthätig	350
Wood . . . . .	880	105	135	76	45,4	von Hand	550
O. Schulz . . . . .	680	76	120	105	50,0	desgl.	500

Bohrlochtiefe erzielen mittels einer Bohrmaschine von bestimmter Größe des Arbeitscylinders bei bestimmter Spannung der Druckluft und bestimmtem Gewicht des Kolbens mit Bohrer, vorausgesetzt, daß Abmessungen der Maschine und Luftspannung der Festigkeit des Gesteins entsprechend gewählt sind. Mit der Luftspannung wächst nicht nur die Kraft des einzelnen Schlages, sondern auch die Geschwindigkeit des Kolbens und somit die Anzahl der Schläge in der Zeiteinheit.

Die Bohrfestigkeit der verschiedenen Gesteinsarten ist selbst bei solchen, die der Zusammensetzung und dem Aussehen nach gleichartig erscheinen, sehr verschieden. Besonders große Unterschiede kommen im Granit und Gneis vor, sodafs diese Gesteinsarten bezüglich der Bohrfestigkeit teils zu den milden, teils zu den härtesten zu rechnen sind. Es ist daher kaum möglich, für bestimmte Gesteinsbenennungen bestimmte Bohrleistungen anzugeben. Als charakteristische Bohrleistung in einem bestimmten Gebirge giebt man gewöhnlich die in der Minute erzielte Bohrlochtiefe an. Bei einer großen Anzahl von derartigen Feststellungen mit der Frölich'schen Bohrmaschine von 75 mm Kolbendurchmesser und 220 mm Hub haben sich bei einer Luftspannung von ungefähr 5 Atmosphären Überdruck und bei 55 mm Lochdurchmesser als Leistungen in der Minute Bohrlochtiefen von 50 bis 300 mm in verschiedenen Gesteinsarten ergeben. Die geringste Leistung wurde in festem Quarzit, die größte in mittelhartem Sandstein erzielt.

Bei diesen weiten Grenzen ist es kaum möglich, die an einer Stelle festgestellte Bohrleistung mit einer unter denselben Bedingungen an einer anderen Stelle festgestellten Leistung zu vergleichen. Eine gerechte Vergleichung der Leistung von 2 verschiedenen Bohrmaschinen ist daher nur möglich, wenn beide Maschinen an dieselbe Druckluftleitung angeschlossen sind und gleichzeitig nebeneinander in dasselbe Gestein bohren. Leider bietet sich nicht leicht die Gelegenheit, derartige vergleichende Versuche anzustellen, und so kommt es, daß es Bohrmaschinen von sehr verschiedener Leistungsfähigkeit giebt, ohne daß die Leistungsunterschiede bekannt werden oder überhaupt den Fabrikanten und den Besitzern von Bohrmaschinen genügend zum Bewußtsein kommen.

Bezüglich der Frage, inwieweit es zweckmässig ist, bei verschiedener Gesteins-härte verschieden hohe Luftspannungen anzuwenden, ist zu bemerken, dass es sich empfiehlt, bei sehr festem Gebirge den Betrieb der Luftdruckpumpe so einzurichten, dass die Luftspannung im allgemeinen nicht unter 5 Atmosphären Überdruck fällt. Wenn das Sicherheitsventil des Luftbehälters erst bei 6 Atmosphären abbläst, so kann man bei genügender Leistungsfähigkeit der Luftpumpe darauf rechnen, dass für den Bohrbetrieb durchschnittlich eine Luftspannung von etwa 5 Atmosphären zur Verfügung steht. Bei milderem Gebirge empfiehlt es sich, den Betrieb der Luftpumpe so einzurichten, dass die Luftspannung durchschnittlich etwa 4 Atmosphären Überdruck beträgt. Es ist hierbei zu bemerken, dass es auch bei verhältnismässig grossem Luftbehälter nicht leicht möglich ist, eine bestimmte Luftspannung einzuhalten. Durch das Auswechseln der Bohrer, das Richten der Bohrmaschinen und sonstige Unterbrechungen im Bohrbetrieb ist der Luftbedarf sehr wechselnd, sodass starke Schwankungen in der Luftspannung und ein zeitweises Sinken unter die gewünschte Spannung gar nicht zu vermeiden sind. Deshalb ist es zweckmässig, das Sicherheitsventil des Luftbehälters so einzustellen, dass es erst bei einer um 1 bis 2 Atm. höheren als der gewünschten durchschnittlichen Luftspannung abbläst.

Die Luftspannung in mildem Gebirge etwa durchschnittlich auf nur 3 Atmosphären zu halten, ist nicht zu empfehlen, weil dadurch die Bohrleistung wesentlich sinken würde. Wenn diese Spannung auch genügende Schlagkraft für mildes Gebirge erzeugt, so würde sie häufig zum raschen Rückgang des Kolbens, der in mildem Gebirge grössere Kraft als in festem erfordert, nicht genügen. Ausserdem würden sich bei durchschnittlich nur 3 Atmosphären Luftspannung die Zahl der Schläge in der Zeiteinheit so vermindern, dass dadurch der ganze Bohrbetrieb zu sehr verlangsamt würde.

Schliesslich kommt noch die Frage in Betracht, ob und in welchen Fällen man leichtere oder schwerere Bohrmaschinen verwenden soll. Bei dem heutigen Stand des Bohrmaschinenbaues hat sich herausgestellt, dass es sich auch in mildem Gebirge nicht empfiehlt, Bohrmaschinen von weniger als ungefähr 80 kg Gewicht zu verwenden. Diese sind noch durchaus handlich, und leichtere Maschinen haben entweder zu geringe Leistungen aufzuweisen oder erfordern zu häufige Ausbesserungen, weil es bei geringerem Gewicht nicht mehr möglich ist, bei genügender Schlagstärke die einzelnen Maschinenteile kräftig genug zu gestalten. In sehr festem Gebirge empfiehlt es sich aber, stärkere Maschinen mit etwas grösserer Schlagkraft und wesentlich verstärkten Teilen im Gesamtgewicht von 100 bis 150 kg zu verwenden. Es ist dies weniger deshalb nötig, weil sich mit den leichteren Maschinen von ungefähr 80 kg nicht genügende Leistungen erzielen liessen, sondern weil die laufenden Unterhaltungsarbeiten bei den stärkeren Maschinen viel geringer sind und daher ihre Verwendung in festem Gebirge durch geringeren Verbrauch an Ersatzteilen und geringere Unterhaltungskosten eine erhebliche Ersparnis im Bohrbetrieb herbeiführt.

Um genaue Angaben über den Druckluftverbrauch bei Bohrmaschinen neuerer Bauart machen zu können, fehlt es leider an geeigneten Versuchen. Eine theoretische Feststellung des Luftverbrauchs würde zu unsicheren Ergebnissen führen, weil es schwierig ist, die beim Bohrbetrieb entstehenden, nicht ganz zu vermeidenden Verluste an Druckluft rechnungsmässig festzustellen. Ausserdem würde aber auch der versuchsmässig genau bestimmte Luftverbrauch einer Bohrmaschine keinen sicheren Anhalt für den gesamten Luftbedarf einer Bohranlage geben können, weil es sich kaum feststellen lässt, wieviel Zeit bei einer Bohrmaschine auf die eigentliche Bohrarbeit zu rechnen ist und wieviel Zeit das Aufstellen und Richten der Bohrmaschine und das Auswechseln

der Bohrer beansprucht. Die Zeitdauer derartiger Unterbrechungen des eigentlichen Bohrbetriebs hängt außer von den Gebirgsverhältnissen hauptsächlich davon ab, ob die Bohrmaschinen mit mehr oder weniger geübten Leuten bedient werden.

Im großen und ganzen hat sich bei einer großen Anzahl von Bohrbetrieben ergeben, daß der Höchstverbrauch einer Bohrmaschine 2 cbm der in der Minute von der Luftdruckpumpe ausgesaugten Luft beträgt. Der durchschnittliche Verbrauch ist erheblich geringer, aber wenn beim Bohren nicht jederzeit die für den Höchstverbrauch erforderliche Luftmenge zur Verfügung steht, so wird die Fortschrittsleistung der ganzen Bohranlage beeinträchtigt. Man muß also bei Einrichtung von Druckluftanlagen für jede im Betrieb befindliche Bohrmaschine 2 cbm angesaugte Luft rechnen, was einem Kraftaufwand von 12 Pferdekraften für jede Bohrmaschine entspricht.

Aus nachstehender Tabelle X — deren Angaben nebst den weiterfolgenden Mitteilungen über Arbeitsverluste bei Bohrmaschinen einem Aufsatz von Professor Dolezalek<sup>27)</sup> entnommen wurden — sind die durch Versuche festgestellten Leistungen der Bohrmaschinen von Ferroux und von Mac Kean bei verschiedenen Luftspannungen zwischen 2 und 4 Atm. Überdruck, sowie die bezüglichen Rechnungsergebnisse zu ersehen.

Tabelle X. Leistungen der Maschinen von Ferroux und Mac Kean.

1. Manometer- Ablesungen am Luft-Reservoir Atm. (nutzbar)	2. Erzeugte Bohrlochtiefe in der Minute mit Maschinen von		3. Luftverbrauch in der Minute		4. Gesamtarbeit in Pferde- kräften, welche dem Luft- verbrauch entspricht		5. Nutzleistung	6. Arbeits- verlust
	Ferroux cm	Mac Kean cm	Ferroux cbm	Mac Kean cbm	Ferroux	Mac Kean	$\frac{a}{A}$ in Prozenten	$\frac{A-a}{A}$ in Prozenten
4	5,6	6,0	0,58	0,62	10,66	11,38	50	50
3 <sup>1/2</sup>	4,0	3,3	0,55	0,59	8,55	9,11	52	48
3	3,7	2,7	0,53	0,57	6,76	7,28	54	46
2 <sup>1/2</sup>	2,7	2,4	0,52	0,51	5,25	5,23	57	43
2	1,4	2,2	0,47	0,46	3,60	3,52	60	40

Bemerkungen. Das Gebirge war harter Gneisgranit. — Der mittlere Bohrlochdurchmesser betrug 40 mm. — Die Maschine von Ferroux hat eine hintere nutzbare Kolbenfläche von 63,62 qcm, eine vordere von 43,98 qcm, die größte Hublänge beträgt 0,13 m. Die Maschine von Mac Kean hat eine nutzbare hintere Kolbenfläche von 78,54 qcm, eine vordere von 52,12 qcm, die größte Hublänge beträgt 0,16 m.

Spalte 3 enthält die Angaben des beobachteten Luftverbrauchs. Spalte 4 gibt die aus der Formel  $A = v \cdot p \cdot \log \text{nat} \frac{p}{p_0}$  berechnete mechanische Arbeit, die der den Maschinen zugeführten Luftmenge  $v$  von  $p$  Atm. wirklicher Spannung entspricht, wobei mit  $p_0$  die atmosphärische Spannung der Luft bezeichnet ist. Von dieser mechanischen Arbeit wird nur ein kleiner Teil für das eigentliche Bohren ausgenutzt. Ein großer Teil derselben geht durch Nichtausnutzung der Expansion verloren, da wie oben hervorgehoben, fast sämtliche Stofsbohrmaschinen mit vollem Druck arbeiten. Wird die Volldruckarbeit mit  $a$  bezeichnet, dann drückt sich die Nutzleistung aus durch  $\frac{a}{A}$  (der gleich ist dem Werte  $l = \frac{1 - \frac{p_0}{p}}{\log \text{nat} \frac{p}{p_0}}$ ), der Arbeitsverlust durch  $\frac{A-a}{a}$ . In Spalte 5 und 6 sind diese Werte, die von der Konstruktion der Maschine unabhängig sind, in Hundertteilen angegeben.

<sup>27)</sup> Dolezalek. Bemerkungen über Bohrmaschinenarbeit im Gotthard-Tunnel. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878, S. 41.

Ein weiterer Arbeitsverlust wird durch die toten Räume und durch Undichtigkeiten der Maschinen bedingt. Dolezalek giebt ihn für die Ferroux-Maschinen zu 19 bis 22%, für die Mac Kean-Maschine zu 12 bis 16% an. — Die durch Reibungswiderstände in den fraglichen Maschinen verloren gehende Arbeit wird für die verschiedenen Luftspannungen auf 20 bis 30% beziffert. — Der schliesslich aus dem Rückgange des Kolbens für die eigentliche Bohrarbeit erwachsende Arbeitsverlust ist für die Ferroux-Maschinen zu 41%, für die Mac Kean-Maschinen zu 45% berechnet. — Bei Verwendung von Luft mit 4 Atm. Überdruck setzen sich danach die Arbeitsverluste folgendermassen zusammen:

	Ferroux-Maschinen Verluste.	Mac Kean-Maschinen Verluste.
Expansionsarbeit . . . . .	50%	50%
Schädlicher Raum und Undichtigkeiten	22%	16%
Reibungswiderstände . . . . .	30%	30%
Rückgang des Stofskolbens . . . . .	41%	45%
Mithin Gesamt-Nutzleistung	$(50\% \cdot 78\% \cdot 70\% \cdot 59\%) = 16,11\%$	$(50\% \cdot 84\% \cdot 70\% \cdot 55\%) = 16,17\%$
und Gesamt-Arbeitsverlust	$(100 - 16,11) = 83,89\%$	$(100 - 16,17) = 83,83\%$

Diese Verluste in den Bohrmaschinen sind bei der Maschinenbohrung nicht die einzigen. Ein Teil der ursprünglichen Arbeitskraft geht schon bei der Erzeugung der Druckluft verloren. Die hieraus erwachsenden Arbeitsverluste sind in § 34 aufgeführt.

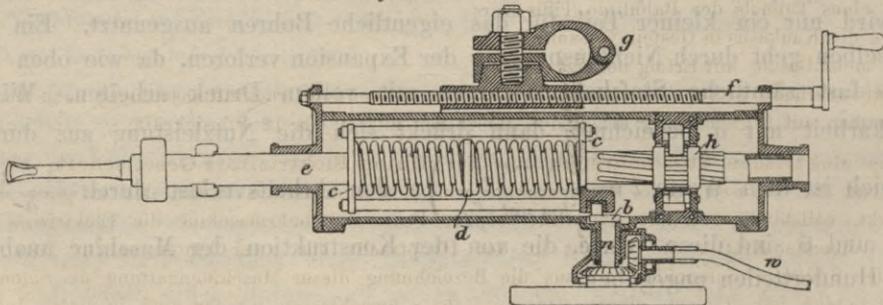
Schädigender noch als die genannten Verluste erweisen sich bei der Bohrarbeit diejenigen, die durch die Reibung und das Klemmen des Bohrers im Bohrloch entstehen, weil hierdurch nicht allein Kraft verloren geht, d. h. der Kohlenverbrauch sich steigert, sondern auch der ganze Bohrbetrieb verzögert wird.

### § 30. Die elektrischen Stofsbohrmaschinen.

#### 1. Die elektrische Kurbel-Stofsbohrmaschine von Siemens & Halske (Fig. 37 u. 38)<sup>28)</sup>.

Bei dieser, von der elektrischen Kraftmaschine *M* getrennten Bohrmaschine *B* wird die drehende Bewegung der ersteren mit Hilfe der auf der Achse *n* angebrachten Kurbel *b* in eine hin- und hergehende Bewegung umgesetzt, die auf den Stofskolben *e* der Bohrmaschine übertragen wird; diese Maschine bezeichnet man daher als Kurbel-Stofsbohrmaschine. Die Übertragung der Bewegung ist aber keine unmittelbare, erfolgt vielmehr durch eine den Kolben *e* umspannende Spiralfeder *d*, die mit der Kurbel *b* und dem Stofskolben *e* in geeignete Verbindung gebracht ist, sodafs sie den Druck und Zug der hin- und hergehenden Kurbel aufnehmen und an den Stofskolben weitergeben kann. Die elastische Verbindung wirkt dahin, dafs der Hub des Stofskolbens gröfser ausfällt, als derjenige der Kurbel und dafs beide Bewegungen auch unabhängig voneinander vor sich gehen können, was beim Gesteinbohren unbedingt notwendig ist, um ein ungehindertes Umlaufen der Kurbel auch dann noch zu gestatten, wenn der Kolben beim Klemmen des Bohrers im Bohrloch plötzlich an einer beliebigen Stelle festgehalten wird, wie das leicht vorkommt.

Fig. 37. Elektrische Kurbel-Stofsbohrmaschine von Siemens & Halske.



<sup>28)</sup> W. Meifsner. Elektrischer Antrieb für Gesteinsbohrmaschinen. Elektrotechn. Zeitschr. (Centralbl. f. Elektrotechnik) 1895, Heft 34 u. 40.

Das Setzen des Bohrers geschieht bei der Siemens'schen Maschine in gleicher Weise wie bei den Druckluftmaschinen durch spiralförmige Nuten mit Federn und Sperrad.

Von hervorragender Bedeutung für die Verwendbarkeit der Kurbel-Stoßbohrmaschine ist ihre Trennung von der elektrischen Kraftmaschine, die neben der Bohrmaschine in einem Kasten auf dem Boden aufgestellt wird. Hierdurch ist erst ein für eine Gesteinsbohrmaschine erforderliches geringes Gewicht und damit eine leichte Beweglichkeit und Handhabung derselben als eine der Hauptbedingungen erreicht. Ermöglicht wird diese Anordnung durch Zuhilfenahme einer sogenannten biegsamen Welle (Stow-sche Welle), die die Drehbewegung des Motors mittels einem an diesem angebrachten Vorgelege und einem Paar Kegelrädern auf die Kurbelachse der Bohrmaschine überträgt.

Die biegsame Welle besteht aus zwei Hauptteilen, nämlich der inneren, eigentlich Arbeit übertragenden, aus einer Anzahl mehrgängiger Stahldrahtspiralen gebildeten Welle oder sogenannten Seele und der äußeren Schutzhülle. Die Seele ist mit massiven Endfassungen aus Stahl versehen, die zugleich zur Bewegung ihrer Enden in der mit entsprechenden Lagerbuchsen ausgestatteten Hülle dienen. Die besonders sorgfältig hergestellte Hülle besteht aus einer sehr kräftigen, außen mit Leder bekleideten eingängigen Stahlschnecke mit Fassungen an den Enden, die gleich denjenigen der Seele zugleich die erforderlichen Kuppelungseinrichtungen tragen. Diese sind in eigenartiger Weise als Schnellkuppelungen hergerichtet, die die Verbindung und Lösung der Welle mit der Maschine in wenigen Sekunden ermöglicht. Die Fig. 39 stellt eine vollständige biegsame Welle dar und daneben eine aus ihrer Hülle herausgenommene Seele.

Bei den neueren Kurbel-Stoßbohrmaschinen ist der Stoßkolben in seiner ganzen Länge durchbohrt, um in sehr zweckmäßiger Weise die rückwärtige Einführung der Bohrer und damit die Fertigstellung jedes Bohrloches aus einer und derselben unveränderten Maschinenstellung zu ermöglichen. Ferner können diese Maschinen mit selbstthätigem Vorschubmechanismus versehen werden.

Die Kurbel-Stoßbohrmaschine der Firma Siemens u. Halske findet in neuerer Zeit, namentlich im Bergbau, vielfach Verwendung, ist auch beim Auffahren des Sohlenstollens eines Tunnels der Bahnlinie Tiflis-Kars im Hochgebirge des Kaukasus in Gestein von sehr wechselnder Härte, meist Basalt, mit Erfolg benutzt worden.

Der Kraftverbrauch ist bei dieser Maschine geringer, als bei den Druckluftmaschinen; nach Angabe der Firma kommen auf 6 gleichzeitig arbeitende Maschinen nur 10 bis 12 Pferdekkräfte.

**2. Die elektrische Stoßbohrmaschine der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft (Fig. 40 u. 41)** Während die Siemens'sche Bohrmaschine von dem elektrischen Motor, der lediglich ihren Antrieb bewirkt, vollständig getrennt ist, wirkt bei der Union-Stoßbohrmaschine die Elektrizität unmittelbar als treibende Kraft. Sie besteht in der Hauptsache aus zwei hintereinander liegenden, magnetisierenden Spulen  $s$  (Solenoiden), woraus die Bezeichnung dieser Maschinengattung als Solenoid-Maschinen entstanden ist), die von einem eisernen Rohr  $r$  umschlossen werden und in deren Innern als Eisenkern der Stoßkolben  $b$ , bei Erregung der Spulen durch elektrischen Strom, hin- und herbewegt wird. Nach vorn ist der Hub der Maschine lediglich durch das Aufschlagen des Bohrers gegen das

Fig. 38.

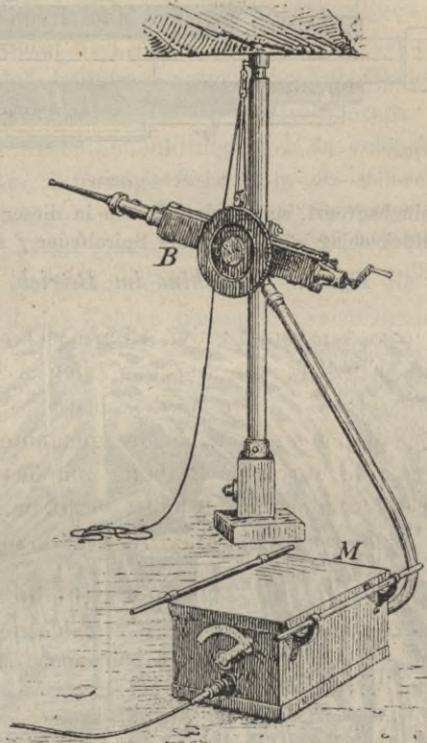
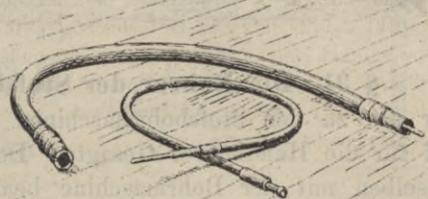
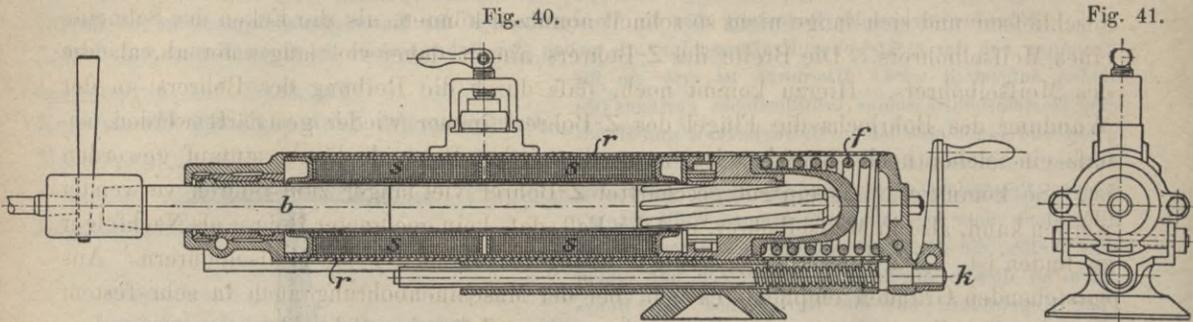
*Aufstellung der Siemens'schen Maschine.*Fig. 39. *Biegsame Welle.*

Fig. 40 u. 41. Elektrische Stofsbohrmaschine der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft.



Gestein begrenzt, sodafs der Kolben in dieser Richtung aus der Maschine herausgezogen werden kann. Der Rückschlag wird von einer Spiralfeder *f* aufgefangen und teilweise wieder nutzbar gemacht. Durch

Fig. 42. Maschine im Betrieb.



besondere Verschlussstücke sind die Spulen vollkommen dicht abgedeckt. Mittels einer Kurbel *k* kann die in einem Schlitten gehende Bohrmaschine etwa 60 cm vor- oder zurückgeschoben werden. Das Setzen des Bohrers, sowie die Befestigung der Maschine an der Bohrsäule geschieht in gleicher Weise, wie bei den übrigen Stofsbohrmaschinen durch gewundene Nuten mit Federn und Sperrad. Der Vorschub erfolgt von Hand. Die gewöhnliche Maschine hat samt dem vorstehenden Bohrkopf eine Länge von 1150 mm, einen Durchmesser von 125 mm und wiegt mit dem Schlitten 106 kg. Fig. 42 zeigt diese Maschine im Betrieb. Es ist noch zu bemerken, dafs diese sich während der Arbeit merklich erhitzt, sodafs es erforderlich ist, für jede arbeitende Maschine eine Ersatzmaschine bereit zu halten, um diese nach etwa zwei-stündigem Betrieb einwechseln zu können.

Auch diese elektrische Bohrmaschine findet im Bergbau vielfache Verwendung und war auch beim Bau des Jungfraubahn-Tunnels in Gebrauch.

### § 31. Die Bohrer der Stofsbohrmaschinen und deren Befestigungsarten.

Für die zu den Stofsbohrmaschinen verwendeten Bohrer gilt im allgemeinen das in § 7 für die Handbohrer Gesagte. Das hintere Ende des Bohrers muß zur Verbindung desselben mit der Bohrmaschine bearbeitet werden. Meistens wird ein cylindrischer oder konischer Zapfen auf der Drehbank angedreht. Falls keine Drehbank zur Verfügung steht, kann dieser Zapfen auch durch Schmieden hergestellt werden.

Was die Kopfform des Bohrers anbelangt, so wird in hartem Gestein mit der einfachen Meißelform mit gekrümmter Schneide die grösste Leistung erzielt. Der Meißelbohrer hat aber den Übelstand, dafs sich die Ecken der Schneide rasch abnutzen und daher die Breite der Schneide und somit der Durchmesser des Bohrlochs durch die natürliche Abnutzung schnell abnimmt. Je nachdem man einen frisch geschärften Bohrer von gewöhnlicher Breite oder einen an den Ecken der Schneide abgenutzten von geringerer Breite verwendet, erhält man sehr verschiedene Bohrlochweiten und dadurch ist es beim Auswechseln der Bohrer oft sehr schwierig, unter den vorhandenen Bohrern einen Nachfolger von geeigneter Breite zu finden.

Dieser Übelstand liegt beim Z-Bohrer viel weniger vor, weil die Flügel der Z-förmigen Schneide so geformt werden, daß sich diese der Wandung des Bohrlochs anschließen und sich lange nicht so schnell abnutzen können, als die Ecken der Schneide eines Meißelbohrers. Die Breite des Z-Bohrers nimmt daher viel langsamer ab, als die des Meißelbohrers. Hierzu kommt noch, daß durch die Reibung des Bohrers an der Wandung des Bohrlochs die Flügel des Z-Bohrers immer wieder geschärft werden, so daß ein solcher noch brauchbar ist, wenn die mittlere Schneide längst stumpf geworden ist. So kommt es, daß ein gut geschärfter Z-Bohrer viel länger zum Bohren verwendet werden kann, als ein Meißelbohrer, und der Fall, daß kein geeigneter Bohrer als Nachfolger zu finden ist, bei Z-Bohrern viel weniger häufig vorkommt, als bei Meißelbohrern. Aus vorstehenden Gründen empfiehlt es sich, bei der Maschinenbohrung auch in sehr festem Gestein für die Anfangs- und Mittelbohrer stets Z-förmige Schneiden zu verwenden, und nur die langen Bohrer, etwa von 1,50 m Länge an, die meist als Endbohrer verwendet werden, als Meißelbohrer zu schärfen. Der etwas geringere Fortschritt beim Bohren mit Z-Schneiden gegenüber dem Bohren mit Meißelschneiden wird durch die oben beschriebenen Vorteile reichlich aufgewogen, weil das Fehlen passender Nachfolgebohrer für die ganze Bohrarbeit sehr störend ist.

Eine geeignete Form der Z-Bohrer und deren richtiges Schärfen ist ein sehr wichtiger Punkt der ganzen Maschinenbohrung, der ganz besondere Aufmerksamkeit erfordert. Es ist vor allem wichtig, den Bohrstahl vor dem Schärfen stark zu stauchen, so daß die Flügel der Z-förmigen Schneide recht kräftig werden. Es gehört einige Übung zum richtigen Schärfen der Z-Bohrer, aber an der Hand guter Muster und mit Hilfe eines geeigneten Gesenkes zur Herstellung der Z-Form kann sich jeder Schmied die erforderliche Übung in einigen Wochen aneignen. Man verwendet meist achtkantig geschmiedeten Bohrstahl, je nach der Härte des Gesteins und der Art der Bohrmaschinen 24 bis 34 mm stark. Wegen einer geeigneten Nachfolge in den Bohrerbreiten ist es zweckmäßig, die Anfangs-, Mittel- und Endbohrer in verschiedenen Stärken zu verwenden. So macht man z. B. häufig die kurzen Bohrer 26 mm, die mittellangen 28 mm, die langen 30 mm stark. Aus Fig. 43 u. 44 ist die richtige Form einer Z-Bohrerschneide, wie sie für festes Gestein geeignet ist, zu ersehen. Je nach der Gesteinshärte muß der Winkel der Hauptschneide und der Flügel spitzer oder stumpfer gemacht werden. Fig. 45 zeigt einen vollständigen Bohrer.

Es ist zu empfehlen, die Breite der Bohrer Schneiden in nachstehender Abstufung auszuführen:

Bohrlänge in mm:	700	1000	1300	1600	1900	2200	2500
Breite der Schneide in mm:	60	55	50	45	40	35	32

Kreuzbohrer oder Kronenbohrer sind viel schwieriger herzustellen als Z-Bohrer und zeigen wie die Meißelbohrer den Übelstand der raschen Abnutzung an den Ecken der Schneide. Außerdem geht bei diesen Formen das Herauswerfen des Bohrmehls aus dem Bohrloch nicht so leicht vor sich, wie bei Meißel- und bei Z-Bohrern. Sie sind daher nicht zu empfehlen und finden nur noch selten Verwendung.

Besonders schwierig ist bei der Maschinenbohrung noch die Befestigungsart des Bohrers mit dem Kolben. Es giebt hierfür eine große Anzahl verschiedener Konstruktionen. Keine derselben befriedigt vollkommen und allgemein, jede hat ihre Nachteile und Vorzüge und es hängt sehr von der Geschicklichkeit und Gewohnheit des Arbeiters ab, ob eine bestimmte Konstruktion so benutzt wird, daß ihre Nachteile beim Bohrbetrieb möglichst wenig hinderlich sind.

Fig. 43.  
Bohrer  
mit Z-förmiger  
Schneide.



Fig. 44. *Untersicht.*

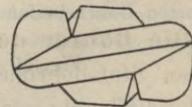
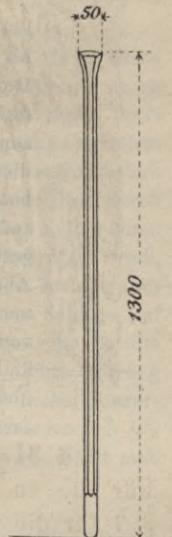


Fig. 45.  
Bohrer.



Die am meisten verwendeten und praktisch bewährten Bohrerbefestigungen sollen nachstehend kurz beschrieben werden:

- a) Bei den früher viel verwendeten Bohrmaschinen von Ferroux und Dubois-François wurde eine Kuppelung verwendet, bei der ein Bohrschuh einerseits von der Kolbenstange, andererseits mit dem Bohrer durch cylindrische Zapfen mit eingetriebenen Keilen verbunden ist. Diese Verbindung ist nicht zu empfehlen, weil sie während des Bohrens leicht lose wird und der Verbrauch an Keilen ein sehr grosser ist.
- b) Bei der Ingersoll'schen Bohrmaschine findet eine andere Befestigungsart nach Fig. 29 u. 30 (S. 74) ausgedehnte Anwendung. Hier nimmt die verlängerte Kolbenstange unmittelbar den cylindrischen Zapfen des Bohrers auf. Dabei ist das Ende der Kolbenstange, soweit der Bohrerzapfen hineinreicht, aufgeschlitzt und der Bohrer wird mittels zweiteiliger Klammern und zweier Klemmschrauben festgehalten. Diese Befestigungsart hat den Vorzug, dass sich das Zapfenloch nicht einseitig abnutzt, wie bei vielen anderen Konstruktionen. Andererseits ist ein sehr festes Anziehen der Klemmschrauben erforderlich. Dies wurde als lästig und zeitraubend empfunden und man suchte daher die Klemmschrauben durch nachstehende Konstruktionen zu vermeiden.

Fig. 46 bis 49. *Ältere Bohrerbefestigung.*

Fig. 46.

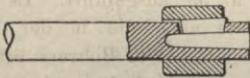


Fig. 47.



Fig. 48.

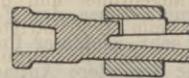


Fig. 49.



- c) Bei der Frölich'schen Bohrmaschine war früher eine Bohrerbefestigung nach Fig. 46 bis 49 im Gebrauch. Hierbei ist die verlängerte Kolbenstange schwach konisch ausgebohrt. Der entsprechend konisch abgedrehte Bohrerzapfen wird durch einen gehärteten Stahlkeil festgeklemmt, der durch eine starke Stahlmuffe mit Keilnute einseitig gegen den Bohrerzapfen gedrückt wird. Ein Schlag auf die Muffe in der Richtung der Kolbenstange macht diese Verbindung zum Bohren fertig, da während der Bohrarbeit die Muffe stets die Neigung hat, sich weiter vorzuschieben und den Keil immer fester einzudrücken. Ein fester Schlag auf die Muffe in entgegengesetzter Richtung löst die Verbindung. Diese Befestigungsart gestattet ein sehr rasches Auswechseln der Bohrer, hat aber den Nachteil, dass eine einseitige Abnutzung des in der Kolbenstange befindlichen Zapfenlochs stattfindet, sodass dasselbe nach kurzem Gebrauch nicht mehr centrisc sitzt und die Richtung des Bohrers zu sehr von der verlängerten Mittellinie des Kolbens abweicht. Ausserdem gehen die kleinen Stahlkeile, namentlich bei ungeübten Arbeitern, sehr leicht verloren, sodass ein sehr grosser Verbrauch dieser Keile nicht zu vermeiden ist. Trotz dieser Übelstände hat diese Befestigungsart bei forcierten Bohrarbeiten in festem Gestein viele Jahre lang gute Dienste geleistet.

Fig. 50 bis 57. *Neuere Bohrerbefestigung.* M. 1 : 10.

Fig. 50.

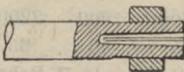


Fig. 51.



Fig. 52.



Fig. 53.



Fig. 54.

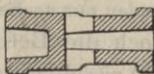


Fig. 55.



Fig. 56.

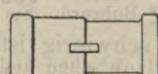
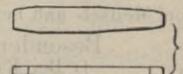


Fig. 57.



- d) Um den einseitigen Verschleiss des Zapfenlochs zu vermeiden, wurde eine Befestigung nach Fig. 50 u. 51 hergestellt. Hierbei ist die verlängerte Kolbenstange cylindrisch oder schwach konisch zur Aufnahme des Bohrerzapfens ausgebohrt und auf die Länge dieses Zapfenlochs durch drei Schlitzte aufgeschlitzt. Der aufgeschlitzte Teil der Kolbenstange verstärkt sich

gegen das Ende hin konisch, sodafs der Bohrerzapfen durch das Antreiben der Muffe festgeklemmt wird. Zum Lösen der Verbindung wird die Muffe durch einen starken Schlag zurückgetrieben.

Bei dieser Konstruktion mufs die Kolbenstange aus sehr gutem Stahl angefertigt sein, um ein Brechen der federnden Teile zu vermeiden. Bei etwas vorsichtiger Behandlung und nicht zu festem Gebirge ist diese Befestigungsart bei Frölich'schen Bohrmaschinen viele Jahre lang mit gutem Erfolg verwendet worden. Mit Zunahme der Schlagstärke der Bohrmaschinen ist sie aber immer mehr aufser Gebrauch gekommen.

Die Anordnung, dafs das Zapfenloch für den Bohrer sich unmittelbar in der verlängerten Kolbenstange befindet, wie bei den unter b), c) und d) angegebenen Ausführungen, vereinfacht zwar die ganze Konstruktion, hat aber den Übelstand, dafs zu einer Erneuerung dieses Zapfenlochs das Ende der Kolbenstange neu angeschweisft und diese auf der Drehbank abgedreht werden mufs. Man ist daher in den letzten 10 Jahren mehr von derartigen Konstruktionen abgekommen und wendet jetzt meist besondere Bohrschuhe an, die mit der Kolbenstange durch einen Konus verbunden sind. Der Winkel des Konus mufs so gewählt werden, dafs sich die Verbindung mit der Kolbenstange nicht zu leicht, sondern nur durch starken Schlag lösen läfst. Dagegen mufs sich die Verbindung zwischen Bohrer und Bohrschuh leichter lösen lassen. Man hat zunächst bei derartigen Bohrschuhen die in den beiden letzten Ausführungen beschriebenen Konstruktionen für die Bohrerbefestigung angeordnet und die Bohrschuhe nach Fig. 52 u. 53 ausgeführt. Es machte dies aber beim Bohrbetrieb Schwierigkeiten dadurch, dafs auch die in der Richtung des Kolbens auf die Muffe geführten Schläge zum Festklemmen des Bohrers öfters ein nicht gewünschtes Lösen der Verbindung zwischen Kolbenstange und Bohrschuh herbeigeführt wurde.

- e) Um diesen Übelstand zu vermeiden, ist man zu der Konstruktion nach Fig. 54 bis 57 übergegangen. Der Bohrschuh ist sowohl mit der Kolbenstange, als auch mit dem Bohrer durch Konus verbunden. Um die Verbindung zwischen Bohrschuh und Kolben zu lösen, mufs ein starker Schlag auf den Bohrschuh geführt werden. Um die Verbindung zwischen Bohrschuh und Bohrer zu lösen, ist senkrecht zur Kolbenachse ein Keilloch im Bohrschuh so angebracht, dafs ein in dieses Keilloch hinter den Bohrerzapfen gesteckter Keil durch starkes Eintreiben den Bohrer aus dem Bohrloch herausdrängt. Bohrschuh und Keil müssen aus sehr hartem Tiegelgufsstahl hergestellt werden. Diese Befestigungsart hat den Vorteil, dafs eine einseitige Abnutzung des Zapfenlochs vermieden wird. Ein Nachteil besteht aber darin, dafs beim Bohren in festem Gestein zum Lösen des Bohrers sehr starke Schläge auf den Keil, also senkrecht zur Längsachse des Kolbens geführt werden müssen, die für die Maschine, namentlich für den vorderen Cylinderdeckel der Maschine und die dichte Führung der Kolbenstange in diesem schädlich sind. Trotz dieses Übelstandes ist diese Bohrerbefestigungsart zur Zeit und seit vielen Jahren in ausgedehnter Anwendung, namentlich bei den Frölich'schen und ähnlichen Bohrmaschinen, und wird wegen ihrer Einfachheit sich nicht leicht durch andere Konstruktionen verdrängen lassen.

Fig. 58 bis 60. *Bohrerbefestigung bei Frölich'schen Bohrmaschinen.*

Fig. 58.

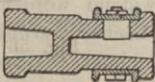
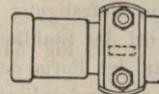


Fig. 59.



Fig. 60.



- f) Bei Frölich'schen und ähnlichen Bohrmaschinen ist neuerdings eine Bohrerbefestigungsart nach Fig. 58 bis 60 in Aufnahme gekommen. Hierbei wird der cylindrische Bohrerzapfen durch einen kleinen Keil mittels einer Klammer und zwei Schrauben festgeklemmt. Man hat also hier wieder die Schrauben und einseitige Abnutzung des Zapfenlochs mit in Kauf genommen, um die der Maschine schädlichen Schläge senkrecht zur Richtung des Kolbens zu vermeiden. Hierbei ist der kleine Keil so angebracht, dafs er nicht leicht verloren geht.

- g) Ähnliche Vorteile bietet die Bohrerbefestigung nach Fig. 61 bis 63, bei der der cylindrische Bohrerzapfen durch ein besonderes Druckstück mittels einer Schraube festgeklemmt wird. Diese Anordnung wird namentlich in Amerika bei der Bohrmaschine von Rand verwendet.

Fig. 61 bis 63. *Bohrerbefestigung bei der Rand'schen Bohrmaschine.*



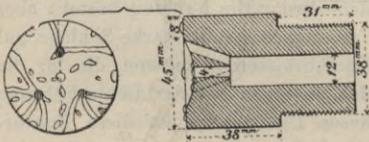
§ 32. **Die Drehbohrmaschinen.** Von den vorhandenen Maschinen dieser Art sollen die wichtigeren kurz besprochen werden und zwar

1. die Diamantbohrmaschine,
2. die elektrische Bohrmaschine von Siemens & Halske,
3. die elektrische Maschine der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft und
4. die Druckwasser-Bohrmaschine von A. Brandt.

Die drei ersten vertreten das im § 26 gekennzeichnete Prinzip des drehenden Bohrens unter geringem Druck auf den Bohrer, während die Brandt'sche Bohrmaschine die andere Gattung, der unter starkem Druck arbeitenden Drehbohrmaschinen, darstellt.

**1. Die Diamantbohrmaschine.** Der Grundsatz des schabend wirkenden Drehbohrers (rasche Umdrehung unter geringem Druck) ist durch die Diamantbohrmaschinen vertreten. Die erste Idee, die Schneide drehender Gesteinsbohrer mit schwarzen Diamanten zu besetzen, um die Abnutzung derselben möglichst zu verringern, ging von R. Leschot aus, der im Jahre 1863 für den Mont Cenis-Tunnel eine derartige Maschine, allerdings ohne Erfolg, entwarf. Auf der Pariser Weltausstellung 1867 war von de la Roche-Tolay eine Diamantbohrmaschine ausgestellt, mit der in einer Minute bei 250 Umdrehungen 3 bis 5 cm Bohrloch in hartem Gestein gebohrt werden konnte. Die wesentlichste Vervollkommnung des Diamantbohrers ist aufser dem Major Beaumont namentlich den amerikanischen Ingenieuren

Fig. 64. *Diamantbohrkrone.*



Pleasants, Shelley, Bullok und Allison zu danken. Die Diamantbohrer werden sowohl als Hohlbohrer mit ringförmiger Schneide, als auch mit massivem Kopf angewandt und zwar erstere überall bei Tiefbohrungen mit weiten Löchern, während man bei kleineren Löchern massive Bohrköpfe anwendet; diese erfordern allerdings mehr Betriebskraft, ersparen jedoch die Zeit, die sonst zum Entfernen der Bohrkörne erforderlich ist. Man formt die Kopffläche der Vollbohrer in neuerer Zeit ausgehöhlt,

da die Erfahrung gelehrt hat, daß diese am raschesten bohren und am wenigsten leicht von der geraden Richtung abweichen. Der Bohrkopf (Bohrkrone, Fig. 64) ist von geringer Länge und besteht aus Stahl. Er wird mittels eines einfachen Schraubengewindes auf der Kolbenstange befestigt. Die Besetzung der Bohrkrone mit Diamanten geschieht in der Weise, daß 6 bis 12 Stück in drei strahlenförmigen Reihen derartig auf der Kopffläche verteilt werden, daß die beim Drehen von ihnen beschriebenen Ringe die ganze Kopffläche voll decken. Bei den erheblichen Kosten solcher Bohrkronen muß natürlich ihrer Herstellung, namentlich der Befestigung der Steine, die größte Sorgfalt gewidmet werden. Behufs Einsetzen der Diamanten wird der Stahlkopf von hinten durchbohrt und die Löcher werden derartig ausgearbeitet, daß sie genau der Form der aufzunehmenden, unregelmäßig gebildeten Diamanten entsprechen. Diese werden dann mit hydraulischem Druck von hinten in die Löcher hineingepreßt und in ihnen mit einem harten Metalle vergossen. Zwischen den Diamanten befinden sich Löcher in der Bohrkrone, durch welche aus der hohlen Bohrstange Wasser zum Fortschlänmen des Bohrmehls unter einem Drucke von 2 bis 4 Atmosphären auf die Bohrfäche ausströmen kann.

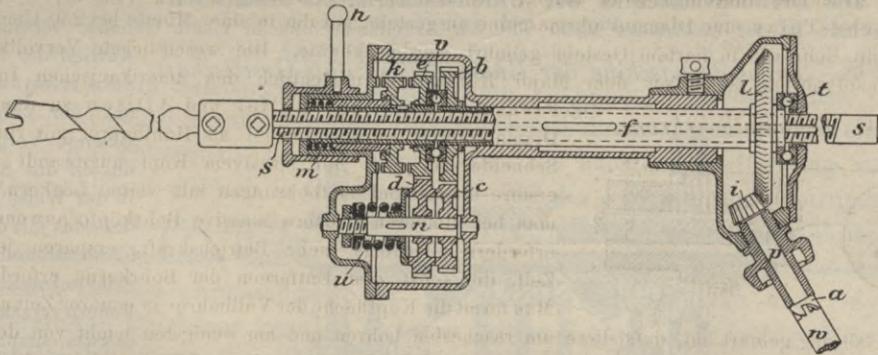
Die Diamantbohrmaschinen eignen sich, selbst in hartem Gestein, ganz vorzüglich zum Bohren von tiefen senkrechten Löchern und übertreffen hierin alle anderen Bohrapparate und Arten. Während z. B. bei den Tiefbohrungen bei Schöningen (Herzogtum Braunschweig), die bis zu 383 m Tiefe mit Freifallbohrern ausgeführt wurden, ein für diese Bohrweise ungewöhnlicher mittlerer Fortschritt von 2,16 m und eine Höchstleistung von 4,84 m am Tage erzielt wurde, erreichte man bei dem Bohrloche bei Rheinfeldern

(Rheinprovinz) im Gebirge von ähnlicher Festigkeit mit 434 m Gesamttiefe mittels Diamantbohrung einen mittleren Fortschritt von 6,9 m und eine Höchstleistung von 23,4 m am Tage.<sup>29)</sup> Diese vorzüglichen Leistungen führten in Amerika zu einem höchst bemerkenswerten Vorgehen beim Abteufen von Schächten. Es werden dabei die für das Aussprengen des Schachtprofils erforderlichen Bohrlöcher sämtlich bis zur vollen Schachttiefe abgebohrt, die Löcher hierauf mit Sand oder Lehm gefüllt und in kurzen Sätzen von oben her nach und nach besetzt und abgeschossen. Diese Abteufmethode erzielt namentlich in festem Gestein und bei starkem Wasserandrang vortreffliche Erfolge.

Für die Herstellung gewöhnlicher Sprenglöcher beim Berg- und Tunnelbau haben die Diamantbohrmaschinen bisher nur vereinzelte Anwendung gefunden, weil man hier mit ihnen keinen rascheren Fortschritt erzielt, als bei den bereits allgemeiner verbreiteten Stofsbohrmaschinen, auch weil sie in der Beschaffung teurer sind. Der letztere Umstand wird allerdings durch die Vorzüge, daß sie weniger Instandhaltungskosten und weniger Betriebskraft erfordern, vollständig aufgewogen. Die Kosten einer solchen Bohrmaschine für gewöhnliche Sprengarbeit betragen 4200 M. einschließlich Diamantbohrkrone; ihr Preis beträgt für Lochdurchmesser von 25 bis 50 mm 170 bis 420 M. (Die zu den Bohrern benutzten Diamanten kosten f. d. Karat 38 bis 46 M.) Die Abnutzung dieser teuren Bohrer ist aber auch nur sehr gering. Von drei Bohrlöchern, die in Virginien im Jahre 1873 in einer Weite von 52 mm mittels Kernbohrern auf Tiefen von 250 bis 300 m und zwar in Sandstein und Schiefer gebohrt wurden, zeigte sich bei zweien gar keine Abnutzung der Bohrer, während bei dem dritten eine Reparatur des Bohrers notwendig wurde, welche auf das Meter Bohrloch nur 1 M. ausmachte.<sup>30)</sup>

**2. Elektrische Drehbohrmaschine der Firma Siemens & Halske.** Die Drehbohrmaschinen werden von Siemens & Halske in zwei grundsätzlich verschiedenen Bauarten hergestellt. Bei der einen ist der elektrische Motor in gleicher Weise wie bei der Stofsbohrmaschine dieser Firma (vergl. § 30) vollständig von der eigentlichen Arbeitsmaschine getrennt und erfolgt hier wie dort die Übertragung der drehenden Bewegung von dem Motor mit Hilfe einer biegsamen Welle. Bei der anderen Bauart ist der elektrische Motor unmittelbar mit der Bohrmaschine verbunden, wie bei der nachfolgend besprochenen Maschine der Union.

Fig. 65. Drehbohrmaschine von Siemens & Halske.



Die Drehbohrmaschine von Siemens & Halske mit getrenntem Motor ist ohne diesen in Fig. 65 schematisch dargestellt. Die Bohrspindel *s* wird durch die sie umschließende Welle *f* mittelst Feder und Nut und durch die Kegelräder *i* und *l* angetrieben, von dem das erstere auf der mit dem elektrischen Motor durch die biegsame Welle *w* verkuppelten Achse *p* befestigt ist. Mit Hilfe des auf der Welle *f* festsitzenden Rades *b* und des auf der Nebenwelle *n* befestigten Rades *c* und des Vorgeleges *d* wird das Rad *e* und durch dieses die mit der Spindel *s* gepaarte Mutter *m* in Drehung versetzt und zwar mit einer Winkelgeschwindigkeit, die von derjenigen der Spindel *s* abweicht, wodurch der Vorschub der Spindel bewirkt wird. Dessen Größe ist abhängig von der Gewindesteigung und von dem Zähnezahl-Verhältnis der Räderpaare *b—c* und *e—d*. Durch Einrücken des Rades *k* in das Rad *e* mit Hilfe des Hebels *n* wird ein rasches Zurückziehen des Bohrers ermöglicht. Der auf die Räder und auf das Gehäuse der Maschine wirkende Achsdruck wird durch die Kugellager *v* und *t* auf das Gehäuse übertragen.

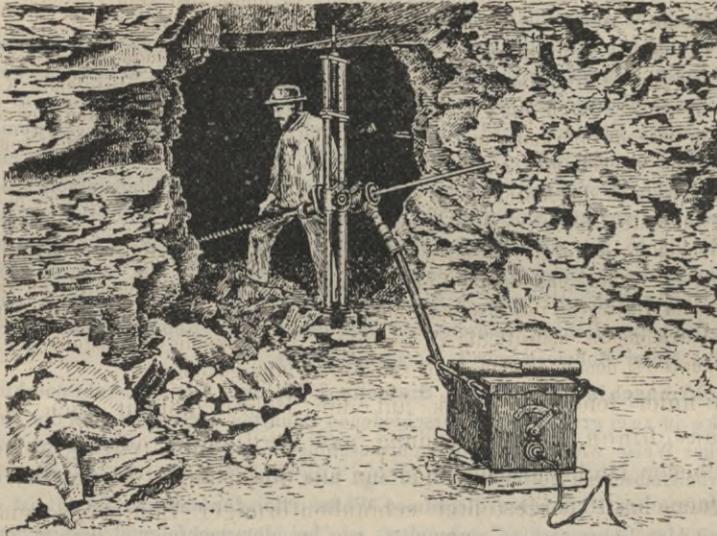
<sup>29)</sup> Rziha. Eisenbahn-Unter- und Oberbau. Wien 1876.

<sup>30)</sup> Für eingehendere Studien bezüglich der Diamantbohrung empfehlen wir das auch in anderer Beziehung sehr lesenswerte Werk von A. Riedler: Gesteinsbohrmaschinen und Luftkompressoren. Bericht über die Weltausstellung in Philadelphia 1876. Wien 1877.

Die Räder *d* und *c* sind nun nicht fest miteinander verbunden, sondern haften aufeinander mit zwei Ringflächen, in denen sie durch die einstellbare Feder *u* aneinandergedrückt werden.

Die Wirkungsweise ist folgende: Der erwähnten gegenseitigen Drehung der Mutter *m* und der Spindel *s* setzt sich als Widerstand der Achsialdruck, sowie die durch denselben in den Gewindegängen

Fig. 66. *Siemens'sche Maschine im Betrieb.*



beider erzeugte Reibung entgegen. Erreicht diese Reibung eine gewisse Höhe, so tritt eine Verminderung der Gleitung zwischen der Mutter *m* und der Spindel *s* ein und dafür ein Gleiten zwischen den Rädern *d* und *c*. Der Vorschub *s* vermindert sich damit. Bei Abnahme des Achsialdruckes wird der Vorschub entsprechend größer. Auf diese Weise regelt sich der Vorschub der Bohrspindel der Härte des Gesteins entsprechend ganz selbstthätig, was für die Brauchbarkeit der Maschine von besonderem Werte ist.

Diese Maschine hat sich in nicht zu festem Gestein gut

bewährt. Sie befindet sich in erheblicher Anzahl in Bergwerken mit Erfolg im Betrieb, so im Salzbergwerk bei Stafsurt, in der Minettegrube Rote Erde bei Aachen u. s. w. Fig. 66 zeigt die Maschine im Betrieb.

**3. Die Drehbohrmaschine der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft** (Fig. 67 u. 68). Bei dieser Maschine ist der elektrische Motor mit der Arbeitsmaschine in einem Gehäuse vereinigt. Der Antrieb der Bohrspindel *s* erfolgt durch das auf der Motorwelle sitzende Vorgelege *a*, das in das Stirnrad *b* in der Weise eingreift, daß das mit dem Rade *b* fest verbundene Rohr *r*, das im Innern mit zwei

Fig. 67 u. 68. *Drehbohrmaschine der Union-Elektrizitäts-Gesellschaft.*

Fig. 67.

Federn versehen ist, die in zwei entsprechende, in der Bohrspindel angebrachte Nuten einfallen. Wie bei der vorstehend beschriebenen Siemens'schen Maschine ist auch hier die Mutter *m* der Bohrspindel in einem Kugellager *k* drehbar; sie ist aber nicht wie dort in mechanischer Verbindung mit der Motorwelle, ihre Drehung erfolgt vielmehr elektrisch. Zu diesem Zweck ist ein Eisenring *o* um sie befestigt, der sich in einem Magnetgestell genau so, wie ein Anker bei einer Dynamomaschine dreht.

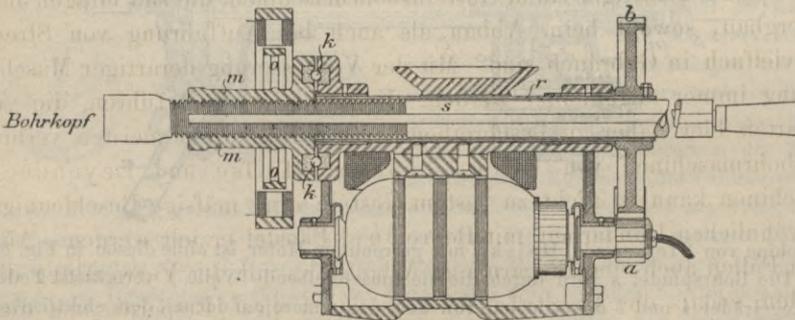
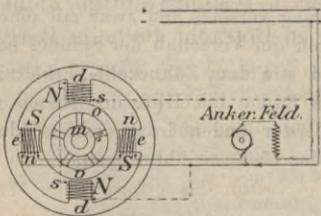


Fig. 68.

Zu diesem Zweck ist ein Eisenring *o* um sie befestigt, der sich in einem Magnetgestell genau so, wie ein Anker bei einer Dynamomaschine dreht.



Dieses Magnetgestell ist mit zwei Wicklungen versehen und zwar mit einer schwächeren *d*, Fig. 68, die direkt an das Leitungsnetz angeschlossen ist und einer solchen *e* aus stärkerem Draht, die mit dem

Stromkreis des Antriebmotors in Verbindung steht. Die schwächere Wicklung *d* erzeugt in dem Magnetjoch Pole, wie sie in der Figur beispielsweise mit *Ns*, *Ns* bezeichnet sind. Der Magnetismus wirkt nun auf den Eisenring *o* der Spindelmutter bremsend, wodurch eine Verlangsamung in der Umdrehung der Spindelmutter und somit ein Vorschub der Spindel solange stattfindet, bis der Druck des Bohrstahls gegen das

Gestein eine gewisse Höhe erreicht hat und die vom Arbeitsmotor zu leistende Arbeit und damit der Stromverbrauch gesteigert wird, womit auch die Stromstärke in der starken Umwicklung (*e*) des Magnetjochs wächst. Diese Wicklung ist nun der schwachen (*d*) entgegen geschaltet, wodurch Pole in der umgekehrten Reihenfolge, in der Zeichnung mit *Sn*, *Sn* bezeichnet, erzeugt werden. Ist die magnetisierende Kraft beider Wicklungen einander gleich, so tritt im Magnetjoch überhaupt kein Magnetismus auf und der Eisenring kann sich wieder frei mit der Spindelmutter drehen; es findet also kein Vorschub, sondern nur ein Drehen des Bohrers statt. Der Vorschub bleibt solange unterbrochen, bis das Bohrloch soweit ausgearbeitet ist, daß der Druck des Bohrers gegen das Gestein wieder bis zu einer gewissen Grenze gesunken ist, womit auch die Stromstärke im Antriebmotor und somit die magnetisierende Kraft der dicken Wicklung (*e*) fällt und der durch die Wicklung *d* erzeugte Magnetismus den der ersteren überwiegt und wieder eine bremsende Wirkung auf den Eisenring ausübt, womit das Spiel von neuem beginnt. Durch Verschalten der Wicklungen im Magnetjoch oder durch Einfügen von Ausgleichwiderständen in ihren Stromkreis läßt sich die Maschine so einstellen, daß der Druck zwischen dem Gestein und dem Bohrstahl jede gewünschte Höhe erreichen kann.

Dieser elektrische Vorschub, der frei von allen aneinander reibenden Teilen ist, stellt sich als eine wesentliche Verbesserung der bisherigen, von der Union gebauten Drehbohrmaschinen, deren Vorschub nur in ungenügender Weise dem Härtegrad des Gesteins angepaßt werden kann, dar und hat dabei den Vorteil, die Stromstärke im Antriebmotor selbstthätig zu regulieren, sodafs keine Überlastung des Motors vorkommen kann. Diese Bauart ist neu und noch nicht zur Anwendung gekommen.

Das Drehbohren unter leichtem Druck auf den Bohrer kommt auch bei den Hand-Gesteinsbohrmaschinen zur Anwendung und wird dabei auch hier wie bei den vorstehend beschriebenen Drehbohrmaschinen ein aus Stahlstangen von rechteckigem oder linsenförmigem Querschnitt hergestellter schraubenförmiger Bohrer, sogenannter Schlangenbohrer, verwendet, der unter mäfsigem Druck und langsam drehender Bewegung in das Gestein eindringt. Hierbei wird das durch die Schneide des Bohrers abgeschabte Bohrmehl, dem Vordringen des Bohrers entsprechend, in den Windungen des Schlangenbohrers, ähnlich wie die Späne bei den Spiralbohrern für Holz oder Metall herausgetrieben. Eine der ältesten Handbohrmaschinen dieser Art ist die von Lisbeth, die namentlich in Salzbergwerken ausgedehnte Verwendung gefunden hat. Neuerdings giebt es eine große Anzahl derartiger Hand-Gesteinsbohrmaschinen, die seit einigen Jahren auch im Kohlenbergbau, sowohl beim Abbau als auch bei Auffahrung von Strecken und Querschlägen vielfach in Gebrauch sind. Mit der Verbesserung derartiger Maschinen wird ihre Anwendung immer allgemeiner werden. Es würde zu weit führen, die vielen verschiedenen Bauarten hier näher zu beschreiben. Zur Zeit sind am meisten verbreitet die Hand-Gesteinsbohrmaschinen von Elliot, Thomas, Heifse und Leyendecker. Mit derartigen Maschinen kann in nicht zu festem Gestein eine mäfsige Beschleunigung, gegenüber der gewöhnlichen Handarbeit mit Bohrer und Fäustel erzielt werden. Aufserdem ist in manchen Fällen auch eine Ersparnis an Arbeitslohn mit der Verwendung dieser Maschinen verbunden, sodafs die Anschaffungskosten durch diese Ersparnis und die erzielte Beschleunigung der Bohrarbeit oft reichlich aufgewogen werden. Dabei ist indessen zu beachten, daß die Handbohrmaschinen zur Verwendung in festem Gebirge nicht geeignet sind. Bei Tunnelbauten kommen sie daher weniger in Betracht als beim Bergbau.

**4. Die Druckwasser-Bohrmaschine von A. Brandt.** Das Prinzip der keilend wirkenden Drehbohrer (langsames Drehen unter starkem Druck) ist zum erstenmale in der Druckwasser-Bohrmaschine von dem Ingenieur A. Brandt zur Anwendung gelangt. Bei den Anwendungen in ihrer anfänglichen Form erforderte nach Rziha<sup>31)</sup> der Betrieb einer solchen Bohrmachine eine Dampfmaschine von 12 bis 13 Pferden und ein Hochdruckpumpenpaar nebst Akkumulator, worin das erforderliche Wasser (für die Stunde und Maschine etwa 2 cbm) auf eine Spannung von 80 bis 150 Atm. gebracht wird. Mit ihren neuesten Abänderungen macht sie nur noch eine Pressung des Betriebswassers von 20 bis 60 Atm. erforderlich; es genügte diese Pressung für Bohrungen in Graniten, Quarzen und dem denkbar härtesten

<sup>31)</sup> Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1877, S. 231.

Fels überhaupt. An den Akkumulator, der zu gleicher Zeit als Sicherheitsventil dient, schließt sich die Hochdruckleitung, welche das Wasser den Maschinen zuführt. — In dem Falle, wo die Bohrarbeit in Teufen von über 200 m ausgeführt werden soll, beschränkt sich die maschinelle Anlage dergestalt, daß Dampfmaschine, Druckpumpe und Akkumulator entfallen und der natürliche, der Saigerteufe entsprechende Druck die Bohrmaschine betreibt. Hierauf gegründete Betriebe befinden sich in verschiedenen Bergwerken.

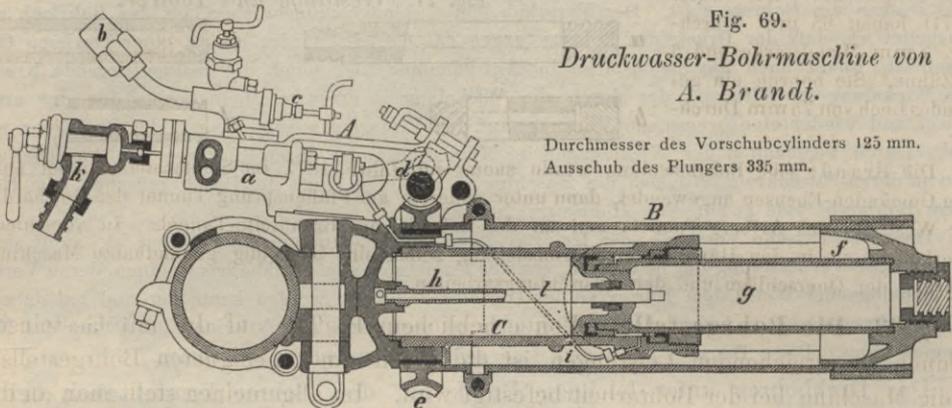


Fig. 69.

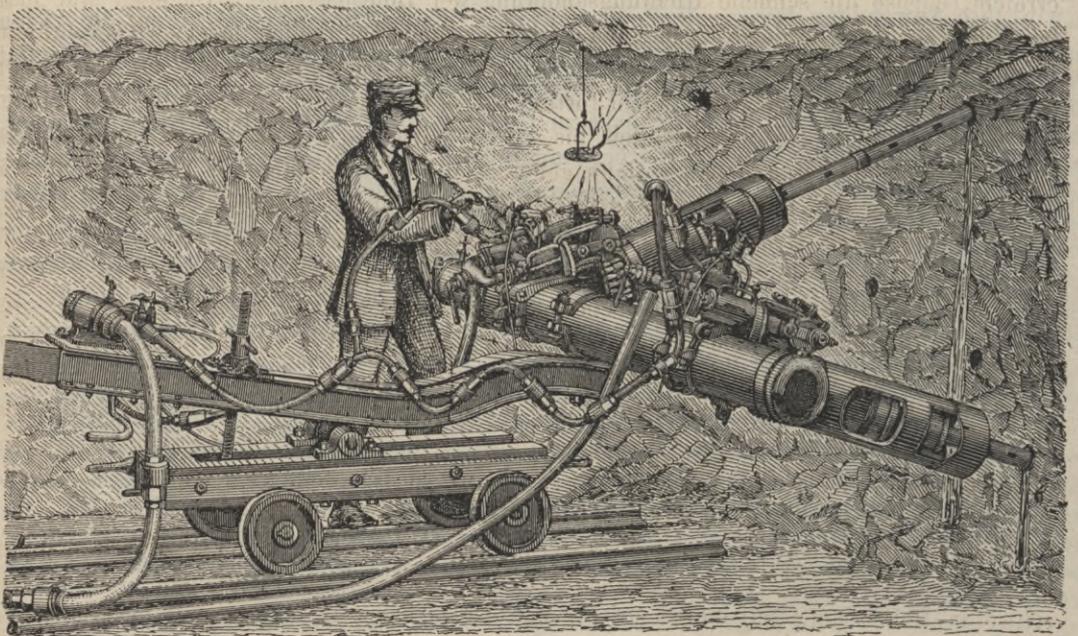
*Druckwasser-Bohrmaschine von  
A. Brandt.*

Durchmesser des Vorschubcyinders 125 mm.  
Ausschub des Plungers 335 mm.

Die in Fig. 69 dargestellte Maschine besteht in der Hauptsache aus den Motoren *A*, dem Druckcylinder *B* und dem Vorschubcylinder *C*. Der Druckwassermotor besteht aus zwei Cylindern *a*, deren Kolben durch eine entlastete Kolbensteuerung wechselseitig getrieben werden. Das durch das Rohr *b* und das Ventil *c* in die Motoren gelangte Druckwasser treibt die Kurbelwelle *d* und die darauf befindliche Schnecke. In diese greift das Schneckenrad *e*, das fest auf dem Cylinder *B* sitzt. — Hierdurch in Umdrehung versetzt, nimmt dieser den Kopf *f* des Vorschubcylinders *g* mit und das darin eingesetzte Bohrgestänge nebst Bohrer. Zu gleicher Zeit übt das im Raume *h* befindliche Druckwasser auf den Kolben während seiner Drehung einen großen Druck aus, der die Bohrerzähne in das Gebirge hineinprefst. — Diesem Eindringen der Zähne entsprechend brechen durch die Drehung des Bohrer's Splitter des Gebirges ab.

Ist die äußerste Grenze des Hubes (wie in Fig. 69 dargestellt) erreicht, so wird das zufließende Druckwasser zum Raume *h* abgesperrt und das Abflavsventil geöffnet. Der durch das Rohr *i* kommende konstante Druck zieht dann den Kolben *g* zurück.

Fig. 70. *Brandt'sche Bohrmaschine im Betrieb.*



Das verbrauchte Wasser geht teils ins Freie, teils durch das Rohr *l* und das hohle Gestänge zum Bohrer, zur Kühlung und Spülung.

Die Bohrmaschinen — bis drei Stück — werden auf einer wagrecht eingespannten hydraulischen Säule aufgeschraubt (Fig. 70). Die Spannung der Säule geschieht mittels des Prefswassers. Sie besteht aus Cylinder und Kolben, die der konstante Druck beständig gegen die Seitenwände des Stollens preßt.

Die Hohlbohrer aus Stahl (Fig. 71) haben 65 mm Durchmesser, 9 mm Wandstärke und 3 bis 4 Zähne. Sie bohren ein genau rundes Loch von 75 mm Durchmesser.



Die Brandt'sche Bohrmaschine wurde zuerst im Jahre 1877 im Sonnenstein-Tunnel auf der Strecke Gemünden-Ebensee angewendet, dann unter anderem am Pfaffensprung-Tunnel der Gotthardbahn, an der Westseite des Arlberg-Tunnels und an der Ostseite des Brandleite-Tunnels. In verschiedenen Bergwerken ist sie in den Händen der Betriebsleitung selbst eine beständig gehandhabte Maschine zur Ausführung der Querschläge und der Ausrichtungsarbeiten.

**§ 33. Die Bohrgestelle.** Von erheblichem Einfluß auf die mit Gesteinsbohrmaschinen zu erreichenden Leistungen ist die Wahl eines geeigneten Bohrgestells, an dem die Maschine bei der Bohrarbeit befestigt wird. Im allgemeinen stellt man an dieses folgende Anforderungen:

1. Das Bohrgestell muß so widerstandsfähig sein, daß nach richtiger Aufstellung des Gestells und der Bohrmaschine auch bei voller Arbeit der Maschine in sehr festem Gebirge nicht leicht ein Losrütteln des Gestells eintreten kann;
2. das Bohrgestell muß so gebaut sein, daß man durch dasselbe möglichst wenig behindert ist, jedem Bohrloch die für die Sprengwirkung günstigste Richtung zu geben. Außerdem müssen die Richtungsänderungen der Maschine möglichst leicht und rasch ausgeführt werden können;
3. das Bohrgestell muß leicht fortzuschaffen sein.

In früheren Jahren suchte man diese Bedingungen hauptsächlich durch verhältnismäßig schwere Bohrgestelle zu erfüllen. Die nötige Widerstandsfähigkeit wurde hierbei erreicht, ebenso die schnelle Richtungsänderung der Bohrmaschine. Dagegen war man bei diesen Gestellen in der Richtunggebung der einzelnen Bohrlöcher meist sehr beschränkt. Die leichte Versetzbarkeit wurde dadurch erreicht, daß das ganze Gestell mit Spurrädern versehen war und auf Schienen leicht fortbewegt werden konnte. Dies hatte aber wieder den Übelstand, daß ein Schienengleis bis zur Arbeitsstelle gelegt werden mußte. Dies ist häufig unmöglich und man war dann genötigt, durch Unterlegen von Eisenblechplatten die Beförderung des Bohrgestells bis an die Arbeitsstelle zu ermöglichen. Der Hauptübelstand derartiger Bohrgestelle beim Auffahren von Stollen besteht aber darin, daß der größte Teil der Stollenbreite auf die ganze Stollenlänge von losgeschossenem Gestein und von Förderwagen frei sein muß, ehe man mit dem Bohrgestell an die Arbeitsstelle gelangen kann. Es kommt aber häufig vor, daß es wünschenswert ist, mit der Bohrarbeit zu beginnen, ehe die vorher abgeschossenen Berge aus der Nähe der Arbeitsstelle entfernt sind.

Durch vorstehende Umstände ist die Verwendung der auf Spurrädern laufenden Bohrgestelle erschwert und man ist daher immer mehr zur Verwendung von Bohrsäulen übergegangen. Es ist hauptsächlich das Verdienst des Ingenieurs Frölich, durch die Ausführung von leichten und zweckmäßigen Druckwasser-Bohrsäulen, die sich sehr fest im Gebirge einspannen lassen und auch schwereren und stark schlagenden Bohrmaschinen genügenden Stützpunkt bieten, die allgemeine Verwendung von Bohrsäulen an Stelle der schweren Bohrgestelle angebahnt zu haben. Aufser den Druckwasser-Bohrsäulen sind

aber auch einfache Schraubenbohrsäulen in verschiedenen Ausführungen ausgebildet worden, die ausgedehnte Verwendung finden.

In Nachstehendem sollen fünf verschiedene praktisch bewährte Bohrsäulen, deren Bauart aus den beistehenden Schnittzeichnungen ersichtlich ist, kurz beschrieben werden.

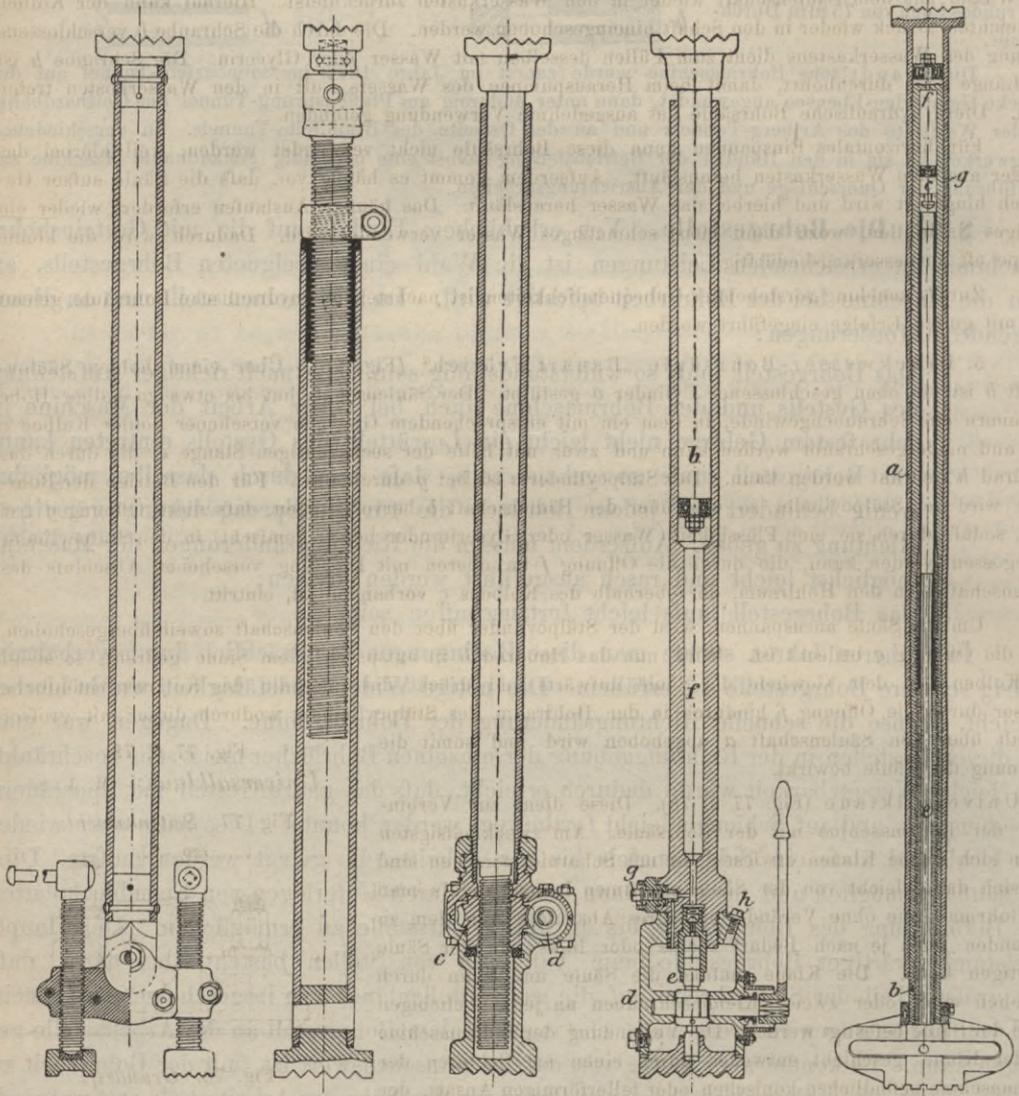
Fig. 72 bis 75. *Bohrsäulen.*Fig. 76. *Druckwasser-Bohrsäule v. Frölich.*

Fig. 72.

Fig. 73.

Fig. 74.

Fig. 75.



1. Bohrsäule mit 2 Spannschrauben (Fig. 72). Dies ist die einfachste Ausführung einer Bohrsäule. Um ein selbstthätiges Zurückgehen der Schrauben nach dem Festspannen möglichst zu vermeiden, können diese durch festes Anziehen der am Fußstück befindlichen Klemmschrauben am Drehen verhindert werden.

2. Bohrsäule mit einer Schraubenspindel (Fig. 73). Die Schraubenspindel ist mit Mutter und Klemmschraube versehen, um ein selbstthätiges Zurückgehen der Spindel verhindern zu können. Das Kopfstück ist so aufgesetzt, daß es sich beim Drehen der Spindel nicht mitzudrehen braucht.

3. Bohrsäule mit Schneckenantrieb (Fig. 74). Der Säulenkolben wird durch Schneckenantrieb herausgeschoben und ist durch Stift und Nute im Säulenschaft geführt, sodass sich der Kolben nicht drehen kann.

4. Druckwasser-Bohrsäule mit Druckpumpe (Fig. 75). In dem Säulenschaft *a* steckt ein Kolben *b*, der durch eine Manschette abgedichtet ist. Am Fusse des Schaftes ist ein Wasserkasten *d* aufgeschraubt, in dem eine kleine Druckpumpe *e* angebracht ist. Durch Hin- und Herbewegen des äußeren Pumpenhebels tritt die Druckpumpe in Thätigkeit und das Wasser wird aus dem Wasserkasten in den Kanal *f* gedrückt, wodurch der Kolben *b* herausgeschoben wird. Um den Kolben wieder zurückschieben zu können, wird durch das Lösen der Schraube *g* ein Abflusskanal geöffnet, durch den das Wasser aus dem Säulenschaft wieder in den Wasserkasten zurückfließt. Hierauf kann der Kolben mit leichtem Druck wieder in den Schaft hineingeschoben werden. Die durch die Schraube *h* verschlossene Öffnung des Wasserkastens dient zum Füllen desselben mit Wasser oder Glycerin. Die Schraube *h* ist der Länge nach durchbohrt, damit beim Herauspumpen des Wassers Luft in den Wasserkasten treten kann. Diese hydraulische Bohrsäule hat ausgedehnte Verwendung gefunden.

Für horizontales Einspannen kann diese Bohrsäule nicht verwendet werden, weil hierbei das Wasser aus dem Wasserkasten herausläuft. Außerdem kommt es häufig vor, dass die Säule aufser Gebrauch hingelegt wird und hierbei das Wasser herausläuft. Das häufige Auslaufen erfordert wieder ein häufiges Nachfüllen, wozu dann meist schmutziges Wasser verwendet wird. Dadurch wird die kleine Pumpe oft ausbesserungsbedürftig.

Zur Vermeidung vorstehender Unbequemlichkeiten ist nachstehende hydraulische Bohrsäule gebaut und mit gutem Erfolge eingeführt worden.

5. Druckwasser-Bohrsäule „Bauart Frölich“ (Fig. 76). Über einen hohlen Säulenschaft *b* ist ein oben geschlossener Cylinder *a* gestülpt. Der Säulenschaft hat bis etwa zu halber Höhe im Innern ein Schraubengewinde, in dem ein mit entsprechendem Gewinde versehener hohler Kolben *c* auf- und niedergeschraubt werden kann und zwar mit Hilfe der sechskantigen Stange *e*, die durch das Handrad *h* gedreht werden kann. Der Stülpcylinder *a* ist bei *g* durchbohrt. Für den Betrieb der Bohrsäule wird der Stülpcylinder so weit über den Säulenschaft *b* hervorgezogen, dass diese Öffnung *g* frei wird, sodass durch sie eine Flüssigkeit (Wasser oder Glycerin oder beides gemischt) in den Stülpcylinder eingegossen werden kann, die durch die Öffnung *f* im oberen mit Dichtung versehenen Abschluss des Säulenschaftes in den Hohlraum, der oberhalb des Kolbens *c* vorhanden ist, eintritt.

Um die Säule anzuspannen, wird der Stülpcylinder über den Säulenschaft soweit übergeschoben, dass die Öffnung *g* bedeckt ist. Wird nun das Handrad *h* in entsprechendem Sinne gedreht, so steigt der Kolben *c* in dem Gewinde der Säule aufwärts und drückt das oberhalb des Kolbens befindliche Wasser durch die Öffnung *f* hindurch in den Hohlraum des Stülpcylinders, wodurch dieser mit großer Gewalt über den Säulenschaft *a* abgehoben wird und somit die Spannung der Säule bewirkt.

Universalklaue (Fig. 77 u. 78). Diese dient zur Verbindung der Bohrmaschine mit der Bohrsäule. Am zweckmäßigsten haben sich solche Klauen erwiesen, die mit Scharnier versehen sind und sich daher leicht von der Säule abnehmen lassen, sodass man die Bohrmaschine ohne Veränderung ihres Abstandes von dem zu bohrenden Loch je nach Bedarf rechts oder links von der Säule befestigen kann. Die Klaue umfasst die Säule und kann durch Anziehen einer oder zweier Klemmschrauben an jeder beliebigen Stelle der Säule befestigt werden. Die Verbindung der Bohrmaschine mit der Klaue geschieht entweder durch einen am Schlitten der Bohrmaschine befindlichen konischen oder tellerförmigen Ansatz, der mit dem entsprechend geformten Teil der Klaue durch Anziehen einer Schraube fest verbunden wird.

Die oben beschriebenen Bohrsäulen können bei allen Bohrmaschinen bis zum Gewicht von ungefähr 150 kg angewendet werden, sodass sie die schwerfälligeren fahrbaren Bohrgestelle fast ganz verdrängt haben.

Fig. 77 u. 78.

Universalklaue. M. 1 : 8.

Fig. 77. Seitenansicht.

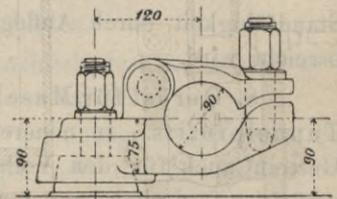
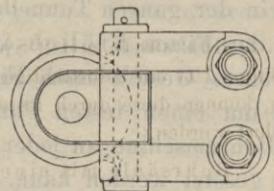


Fig. 78. Grundriss.



6. Fahrbares Bohrgestell. Als Beispiel eines in früheren Jahren vielfach angewendeten Bohrgestells ist in Fig. 79 u. 80 das von Ferroux entworfene Bohrgestell dargestellt. Zur Erläuterung der Zeichnung sei folgendes bemerkt: In den Cylinder *a* mündet die Luftleitung ein; an ihm sind Ventilansätze für die Luftschläuche zu den einzelnen Maschinen angebracht. Die Säulen *bb* zu beiden Seiten des Gestelles dienen als Führung für die Muttern *dd*, die mittels der Schraubenspindeln *ff* an den Säulen *b* auf- und niederbewegt werden können und dazu bestimmt sind, die hinteren Rahmenenden der Bohrmaschinen mit Hilfe der Ansätze *mm* aufzunehmen. In gleicher Weise haben die in der Mitte vorn an dem Gestelle zusammengerückten Säulen *cc* den Zweck, als Führung für die Auflager *ee* des vorderen Teiles der Bohrmaschinen zu dienen. Diese gabelförmigen Auflager können gleichfalls mittels der Spindel *gg* in höhere und niedere Lagen gebracht werden, außerdem sind sie aber auch noch an den Spindeln *hh* seitlich verschiebbar, sodafs die in ihnen gelagerten Bohrmaschinen die in der Zeichnung punktiert angedeuteten Richtungen (in wagerechtem Sinne) annehmen können. Das Ferroux-Gestell fand im Gotthard-Tunnel Verwendung. Es hat vor den älteren Anwendungen dieser Art den Vorzug eines gröfseren Spielraumes in der Richtungsänderung der Bohrmaschinen; gegenüber der einfachen Bohrsäule ist er immerhin noch ein sehr beschränkter.

Fig. 79 u. 80.

Fahrbares Bohrgestell von Ferroux. M. 1:30.

Fig. 79. Seitenansicht.

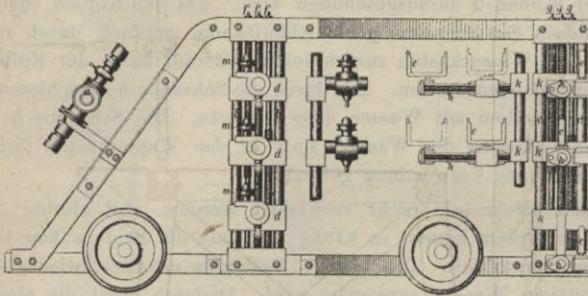
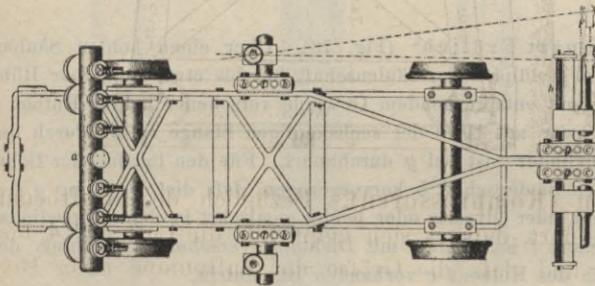


Fig. 80. Grundriss.



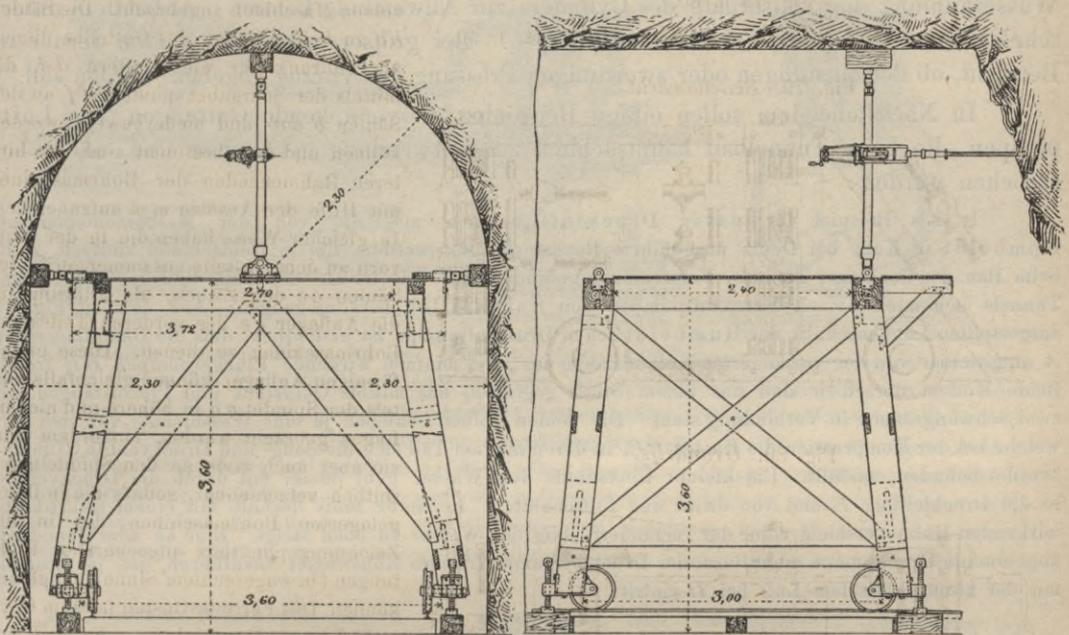
7. Das Bohrgestell der Brandt'schen Druckwasser-Drehbohrmaschine, das in der Hauptsache aus einer wagerechten, auf einem Wagengestell gelagerten hydraulischen Bohrsäule von sehr kräftiger Konstruktion besteht, ist schon in § 32, Fig. 70 dargestellt.

Für Bohrmaschinenbetrieb in Felseinschnitten, Steinbrüchen und beim Schacht-  
abteufen kommt außerdem das Dreifufsgestell in Betracht, bei dem die erforderliche  
Standfähigkeit durch Auflegen von gusseisernen Gewichten auf die einzelnen Füfe  
erreicht wird.

8. Gerüst für Maschinenbohrung zum Ausbruch des oberen Teiles eines  
Tunnelprofils. In neuerer Zeit werden die Bohrmaschinen bei Tunnelbauten in festem  
Gestein auch für den Vollausbuch benutzt. In solchem Falle sind besondere Bohr-  
gerüste erforderlich, um den oberen Teil des Tunnelprofils ohne Vortreiben eines First-  
stollens abbohren zu können, nachdem der untere Teil des Tunnelprofils vom Sohlenstollen  
aus in der ganzen Tunnelbreite mit Hilfe von Bohrsäulen hergestellt ist. Hierzu wurde  
von der Firma Frölich & Klüpfel beim Bau des Gravehals-Tunnels in Norwegen ein  
fahrbares Gestell nach Fig. 81 u. 82 mit gutem Erfolg eingeführt. Auf diesem ist  
eine um einen festen Punkt drehbare Schraubenbohrsäule angebracht, mit deren Hilfe  
die Bohrmaschine an jeder beliebigen Stelle des oberen Teils des Tunnelprofils in Thätig-  
keit gesetzt werden kann. Dieses Gerüst ist so gebaut, dafs die Beförderung der Berge  
aus dem Sohlenstollen nicht behindert ist.

Fig. 81 u. 82. *Fahrbares Bohrgestell vom Gravelhals-Tunnel.*Fig. 81. *Vorderansicht.*

M. 1:75.

Fig. 82. *Seitenansicht.*

**§ 34. Die Druckluftpumpen (Kompressoren).** Bezüglich des Kraftbedarfs der Bohrmaschinen ist in § 29 ausgeführt, daß es sich empfiehlt, die Luft auf 4 bis 6 Atmosphären Überdruck zu pressen und daß die Größe der Luftpumpe einer Bohranlage so zu bemessen ist, daß für jede der gleichzeitig in Betrieb befindlichen Bohrmaschinen in der Minute 2 cbm der von der Luftpumpe angesaugten Luft zur Verfügung stehen.

Die Art des Antriebs der Luftpumpe muß sich nach den örtlichen Verhältnissen richten. Für Tunnelbauten verwendet man häufig Luftpumpen mit Riemenantrieb, die durch Lokomobile, Turbine oder Elektromotor angetrieben werden. Seltener kommen beim Tunnelbau Luftpumpen mit angebauter Dampfmaschine zur Verwendung, während solche bei dauernden Anlagen für den Bergbau die Regel bilden.

Bei der Pressung der Luft handelt es sich hauptsächlich darum, nachstehende, nicht zu vermeidende Arbeitsverluste in mäßigen Grenzen zu halten:

1. Die angesaugte Luft hat eine gewisse Arbeit zu leisten zum Öffnen und Schließen der Saugventile bei den Ventilluftpumpen oder der Rückschlagplatte bei den Schieberluftpumpen. Dieser Arbeitsverlust steigt mit zunehmender Kolbengeschwindigkeit;
2. die bedeutendste Verlustquelle ist die Erwärmung der Luft während der Pressung. Eine Verwertung der erzeugten Wärme ist leider nicht möglich, weil sie auf dem Wege von der Luftpumpe zur Arbeitsstelle wieder verloren geht;
3. eine weitere Verlustquelle sind die toten Räume an den Cylinderenden;
4. ein weiterer Arbeitsverlust findet dadurch statt, daß zum Schließen der Ventile oder Rückschlagplatten immer eine gewisse Zeit erforderlich ist, während der die Luft entweicht.

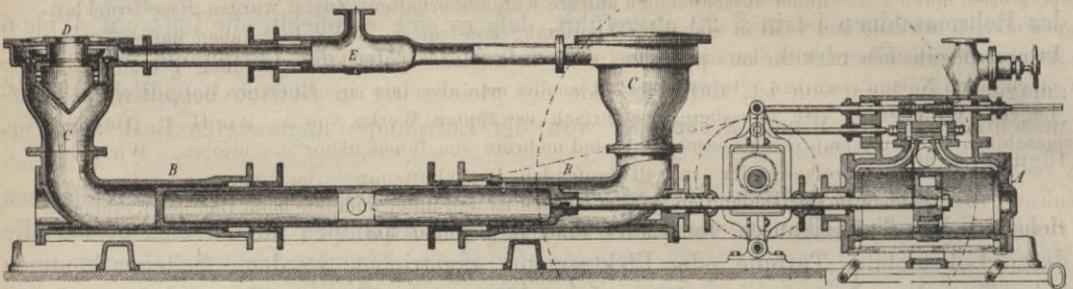
Je nach der Art, wonach der zweiten Verlustquelle, der Erwärmung der Luft bei der Pressung, entgegengetreten wird, unterscheidet man drei Gattungen von Luftpumpen und zwar nasse, solche mit Wassereinspritzung und drittens trockene, bei denen die Wasserkühlung nur außerhalb des Cylinders zur Anwendung kommt. Außerdem unterscheidet man Ventil- und Schieber-Luftpumpen. Bei größeren Anlagen kommt ferner in Betracht, ob der einstufigen oder zweistufigen Pressung der Vorzug gegeben werden soll.<sup>32)</sup>

In Nachstehendem sollen einige Beispiele für vorstehende Gattungen von Luftpumpen, die beim Tunnelbau hauptsächlich zur Verwendung gekommen sind, näher besprochen werden:

1. Als Beispiel für nasse Druckluftpumpen mag die von der Maschinenbauanstalt Humboldt in Kalk bei Deutz ausgeführte Bauart genannt werden, die in Deutschland vielfach, z. B. beim Bau des Cochemer Tunnels, Verwendung gefunden hat. Sie ist aus den beim Bau des Mont Cenis-Tunnels benutzten nassen Druckluftpumpen von Sommeiller hervorgegangen. Aus dem in Fig. 83 dargestellten Längenschnitt der Humboldt'schen Druckluftpumpe ist ersichtlich, daß die Dampfmaschine *A* unmittelbar von der verlängerten Kolbenstange aus zwei einfach wirkende Plungerpumpen *BB* treibt. Beide Kolben derselben sind aus einem Stück gegossen, das mittels Querstück und Pleuelstangen mit zwei Schwungrädern in Verbindung steht. Die beiden Kolben schieben je eine Wassersäule vor sich her, welche bei der Kompression die Kasten *CC*, in deren oberem Teil sich die Saug- und Druckventile (Gummi-ventile) befinden, ausfüllt. Ein kleiner Überschuss von Wasser geht immer mit durch die Druckventile in die Druckleitung *E* und von da in den Luftbehälter. Letzterer muß deshalb mit einem selbstthätig wirkenden Hahn versehen sein, der verhindert, daß das Wasser zu hoch steigt. Eine an dem Querstück angebrachte Druckpumpe dient dazu, der Druckluftpumpe frisches Kühlwasser zuzuführen, das in dieselbe mit der atmosphärischen Luft bei *D* eintritt.

Fig. 83.

Druckluftpumpe „Humboldt“ der Maschinenbauanstalt Kalk bei Deutz. M. 0,016.



Die in der Zeichnung dargestellte Maschine hat einen Cylinderdurchmesser von 160 mm, einen Hub von 500 mm und macht in der Minute 30 Doppelgänge. Die Kolbengeschwindigkeit beträgt nur 0,5 m in der Sekunde.

2. Die ersten Druckluftpumpen mit Wassereinspritzung waren die beim Bau des St. Gotthard-Tunnels verwendeten Colladon'schen Kompressoren.<sup>33)</sup> Eine allgemeine Anwendung müchten diese als zu kompliziert und zu teuer kaum finden, es soll deshalb hier eine kurze Beschreibung der neueren Konstruktion der Dubois-François-Kompressoren als Beispiel der zweiten Gruppe gegeben werden. In den Fig. 84 u. 85 ist eine solche Luftpumpe im Längen- und Querschnitt dargestellt. Sie ist doppelt wirkend und wird durch eine Dampfmaschine von gleichem Cylinderdurchmesser und gleichem Hube unmittelbar durch die verlängerte Kolbenstange getrieben. Die Saugventile sind verstärkte Lederklappen, die Druckventile von Rotguß.

Das Kühlwasser wird durch die in den beiderseitigen Cylinderdeckeln eingesetzten Hülsen *aa*, deren Deckelfläche siebartig durchlöchert ist, in den Cylinder eingesaugt. In diesem kann es sich nur

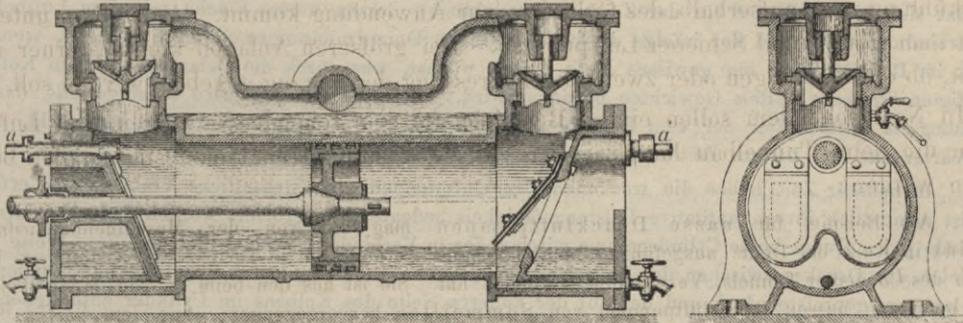
<sup>32)</sup> Über die Theorie der Druckluftherzeugung und über die Druckluftpumpen findet man Näheres im IV. Bande dieses Handbuchs, Kap. II, S. 194 ff.

<sup>33)</sup> Engineering, 5. Febr. 1875, S. 104.

Fig. 84 u. 85. *Druckluftpumpe von Dubois-François.* M. 1:20.

Fig. 84.

Fig. 85.



in verhältnismäßig geringer Menge bis zur Höhe der Saugventilöffnungen ansammeln, da bei deren jedesmaligem Öffnen das überschüssige Wasser abfließt. Die geringere Wassermenge, die bei dieser Maschine durch den Kolben zu bewegen ist, gestattet diesem schon eine größere Geschwindigkeit als bei den nassen Druckluftpumpen. Sie kann ohne wesentliche Nachteile bis auf 1 m gesteigert werden. Diese Maschinen fallen daher bei derselben Leistung schon wesentlich kleiner und billiger aus, als die mit voller Wassersäule arbeitenden Luftpumpen; die Kolbengeschwindigkeit ist aber bei ihnen immerhin noch gering, sodass die Abmessungen und Gewichte der Maschinen noch ein besonderes Grundmauerwerk notwendig machen, das die Anlage verteuert und deren Transportfähigkeit wesentlich beeinträchtigt.

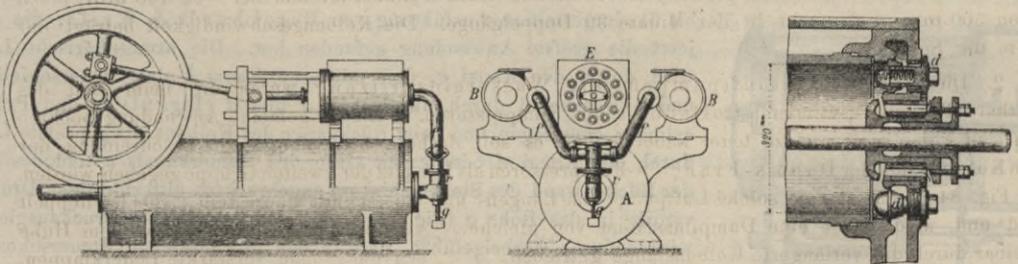
3. Trockene Druckluftpumpen. Die Überzeugung, dass eine allgemeine Anwendung des Maschinenbohrers hauptsächlich von einer billigen und leicht beweglichen Anlage abhängig sei, führte in Amerika und England zur Einführung und Verbesserung der dritten Gattung, der sogenannten trockenen Kompressoren, deren Luftzylinder ausschließlich äußere Kühlung erhalten. Zuerst wurden diese Druckluftpumpen einfach wirkend und zwar in stehender Anordnung konstruiert. Als solche haben namentlich die von Burleigh erbauten in Amerika sowohl, als auch in England vielfache Anwendung gefunden und sich einen guten Namen erworben. In neuerer Zeit wendet man aber fast ausschließlich doppelt wirkende und liegende Cylinder an. In dem bereits mehrfach erwähnten Werke von A. Riedler: „Gesteinsbohrmaschinen und Luftkompressionsmaschinen“ sind mehrere von ihnen näher beschrieben. Wir geben hier zunächst eine Beschreibung der schnell laufenden Druckluftpumpe von Sturgeon, die durch Ingenieur Frölich auch in Deutschland eingeführt worden ist und unter anderen beim Bau des Krähberg-, des Brandleite- und des Marienthaler Tunnels Verwendung gefunden hat.

Fig. 86 bis 88. *Druckluftpumpe von Sturgeon.*

Fig. 86.

Fig. 87.

Fig. 88.



Bei dem Sturgeon'schen Kompressor (Fig. 86 bis 88) dient der Luftbehälter *A* gleichzeitig als Fundament der eigentlichen Maschine. Diese besteht aus zwei liegenden Dampfmaschinen *B* und *B*, die von einer gemeinsamen Schwungradwelle aus die zwischenliegende, doppelt wirkende Luftpumpe *E* treiben. Die Pleueln sind so gestellt, dass die Maschine in jeder Stellung ohne Nachhilfe angeht. Der große Luftzylinder gestattet die Anwendung möglichst großer Ventilquerschnitte. Die Saugventile sind Sturgeon's Patent-Stopfbüchsenventile, die von der Pleuelstange durch Reibung mitgenommen und so geöffnet und geschlossen werden. Um das Saugventil herum sind in Cylinderdeckel 12 Druckventile *d*

von Phosphorbronze verteilt, die zusammen einen so großen Querschnitt bieten, daß für sie ein Hub von 1,5 mm genügt. — Der Sturgeon-Kompressor ist noch mit einer höchst einfachen selbstthätigen Vorrichtung zum Regeln des Luftdruckes versehen. In dem am Luftbehälter angebrachten Cylinder *r* befindet sich ein Kolben *e* (in der Zeichnung punktiert), dessen untere Fläche mit dem Luftbehälter in Verbindung steht, und infolge dessen die beiden Dampfleitungen *ff* dann schließt, wenn der Druck im Behälter über ein gewisses Maß hinaus wächst, was durch die Belastung der am Kolben *e* befestigten Stange *g* mittels Gewichten bestimmt wird. Diese Vorrichtung wird so eingestellt, daß die Spannung im Luftbehälter der zum Betriebe der Bohrmaschine erforderlichen Höhe entspricht, sodaß ein Wärter nur von Zeit zu Zeit zum Schmieren der Maschine nötig ist.

In neuerer Zeit haben die trockenen Druckluftpumpen eine wesentliche Verbesserung erfahren und ist namentlich ihre quantitative Leistungsfähigkeit bedeutend vergrößert worden dadurch, daß man am Ende jeden Hubes beide Cylinderräume miteinander in Verbindung gesetzt und auf diese Weise einen Ausgleich des Druckes zwischen der im schädlichen Raume auf der einen Kolbenseite im Cylinder eingeschlossenen geprefsten Luft und der auf der anderen Seite des Kolbens im Cylinder enthaltenen Luft von atmosphärischer Spannung herbeigeführt hat. Soviel bekannt, rührt dieser Gedanke von Professor Wellner in Prag her. Die ersten Ausführungen dieser Art von durchschlagend praktischem Erfolge gehen von Burckhardt & Weifs in Basel aus. Nach diesen haben noch andere Fabrikanten den Bau solcher trockenen Luftpumpen mit Druckausgleich aufgenommen, z. B. Wegelin & Hübener in Halle a. d. S., die Duisburger Maschinenbaugesellschaft u. a.

Fig. 89 bis 91. Druckluftpumpe von Burckhardt & Weifs. M. 0,048.

Fig. 90.

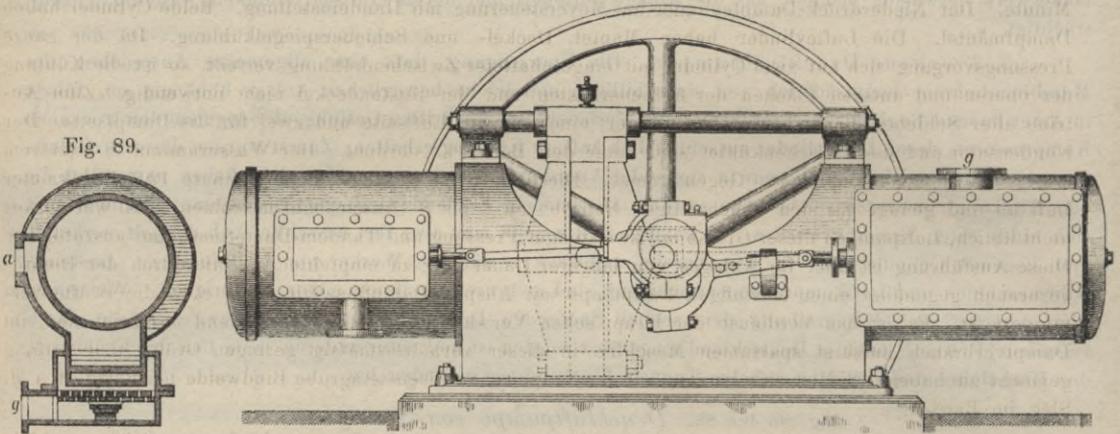


Fig. 89.

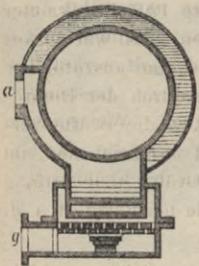
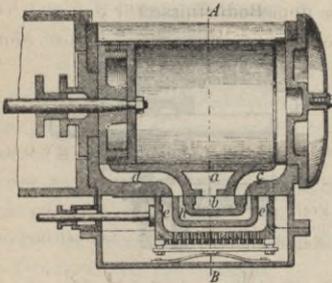


Fig. 91.



In Nachstehendem geben wir die Beschreibung der in den Fig. 89 bis 91 dargestellten Ausführung von Burckhardt & Weifs, die bis jetzt die größte Anwendung gefunden hat. Die atmosphärische Luft wird durch den Kanal *a*, den mittleren Raum *b* des Steuerschiebers und abwechselnd durch die Kanäle *c* und *d* (Fig. 91) in den Prefscylinder eingesogen und beim Rückgange des Kolbens als geprefste Luft durch den Kanal *d* oder *c* mit Hilfe des Steuerkanals *e* und des auf der Rückenwand des Steuerschiebers angebrachten gitterförmigen Druckventils in das Rohr *g* (Fig. 89 u. 90) gedrückt. Der Druckausgleich wird dadurch herbeigeführt, daß in den gewöhnlichen Steuerschieber ein Druckausgleich-Kanal *h* eingelegt ist. Dieser Kanal bringt unmittelbar nach vollendetem Hube beide Cylinderräume miteinander in Verbindung und bewirkt auf diese Weise, daß die im schädlichen Raume enthaltene Prefsluft nach dem anderen Cylinderraum überströmt und hier mit der schon vorher angesogenen Luft nutzbar weiter gefördert wird, während auf der anderen Seite der Druck schon zu Anfang des Hubes auf den Druck im Saugraum herabsinkt, sodaß gleich neue Luft angesogen wird. Durch diese Vorrichtung wird der volumetrische Wirkungsgrad, d. h. das Verhältnis der wirklich angesogenen Luftmenge zu dem vom Kolben durchlaufenen Raum nicht unerheblich erhöht.

Die Fabrikanten geben an, dafs, wenn der schädliche Raum z. B. 5<sup>o</sup>/<sub>100</sub> des Cylinderinhalts beträgt, der Wirkungsgrad sich wie folgt berechnet

bei einem Druck von . . . Atmosphären	3	5	10
Wirkungsgrad mit Druckausgleich . . .	99	99	97 <sup>o</sup> / <sub>100</sub>
Wirkungsgrad ohne Druckausgleich . . .	89	79	53 <sup>o</sup> / <sub>100</sub>
somit Gewinn . . . . .	10	20	44 <sup>o</sup> / <sub>100</sub>

Aufserdem haben diese Luftpumpen noch andere Vorteile (Vermeidung der Schläge, bequemere und erleichterte Dichtung, geringere Unterhaltung), die Veranlassung gegeben haben, dafs die Schieber-Kompressoren die Ventil-Kompressoren fast ganz verdrängt haben.

In neuerer Zeit baut die genannte Firma Luftpumpen dieser Art in sehr gedrängter Form. Dabei bildet das Gestell für Dampf- und Luftcylinder ein Gufsstück. Dies bietet den Vorteil, dafs die ganze Maschine in der Maschinenfabrik fertig zusammengestellt werden kann, wodurch ihre Aufstellung auf der Baustelle sehr vereinfacht ist. Ferner sind die beiden Cylinder nebeneinander angeordnet. Gegenüber der Bauart mit hintereinanderliegenden Cylindern erzielt man bei dieser Anordnung durch die richtige Wahl der Stellung der beiden Kurbeln zu einander auch bei geringer Umdrehungszahl und starker Expansion des Dampfes noch einen regelmässigen Gang. Mantel, Deckel und Schieberkasten des Luftcylinders werden durch Wasser gekühlt. Diese Luftpumpe, die in der Minute 6,2 Kubikmeter Luft ansaugt, genügt für den gleichzeitigen Betrieb von 3 Gesteinsbohrmaschinen. Sie ist bei kleineren Gesteinsbohranlagen vielfach zur Anwendung gekommen und hat sich gut bewährt.

Die Burckhardt & Weifs'schen Luftpumpen sind neuerdings als zweistufige Dampfmaschinen mit Kondensation hergestellt. Die Niederdruckcylinder für Dampf und Luft sind direkt mit dem Gestell verschraubt und die Hochdruckcylinder hinter denselben angeordnet. Umdrehungszahl 30 bis 100 in der Minute. Der Niederdruck-Dampfcylinder hat Meyersteuerung mit Handeinstellung. Beide Cylinder haben Dampfmäntel. Die Luftcylinder haben Mantel, Deckel- und Schieberspiegelkühlung. Da der ganze Pressungsvorgang sich auf zwei Cylinder mit eingeschalteter Zwischenkühlung verteilt, so ist die Kühlung der oberen und unteren Flächen der Schieberkasten und der Kastendeckel nicht notwendig. Zum Antrieb aller Schieber dienen nur drei Excenter, einer für die Luftseite und zwei für die Dampfseite. Der Kondensator und der Zwischenkühler sind unter dem Boden angeordnet. Der Wasserumlauf in letzterem erfolgt nach dem Prinzip des Gegenstromes. Diese Luftpumpe saugt in der Minute 12,2 Kubikmeter Luft an und genügt für den gleichzeitigen Betrieb von 6 bis 8 Gesteinsbohrmaschinen. Es war bisher nicht üblich, Luftpumpen dieser Gröfse mit zweistufiger Pressung und Tandem-Dampfmaschine auszuführen. Diese Ausführung ist aber für Anlagen von längerer Dauer sehr zu empfehlen, da hierdurch der Dampfverbrauch gegenüber einer einstufigen Luftpumpe mit Auspuff-Dampfmaschine auf etwa die Hälfte vermindert ist. Es ist das Verdienst der Krupp'schen Verwaltung, mit der vorstehend beschriebenen, im Dampfverbrauch äufserst sparsamen Maschine in dieser verhältnismässig geringen Gröfse den Anfang gemacht zu haben. Sie ist seit kurzem auf der Krupp'schen Eisensteingrube Bindweide bei Betzdorf a. d. Sieg im Betrieb.

Wie die Bohrmaschinen, so werden auch die Luftpumpen in den verschiedensten Gröfsenverhältnissen gebaut, je nach der Gröfse des Betriebes, dem sie dienen sollen. Zum Vergleiche sind die Hauptverhältnisse der im Vorstehenden besprochenen Druckluftpumpen, wie sie dem Bedürfnisse für den gleichzeitigen Betrieb von vier Bohrmaschinen mit 60 bis 80 mm Cylinderdurchmesser entsprechen, nebst den Kosten in Tabelle XI zusammengestellt.

Tabelle XI.

**Hauptverhältnisse der Druckluftpumpen Humboldt, Dubois-François u. Sturgeon.**

Name der Maschine	Cylinderdurchmesser mm	Hub mm	Doppelgänge in der Minute	Kolbengeschwindigkeit pro Sekunde m	Preis der Druckluftpumpen einschl. Betriebsdampfmaschine M.	Preis des Luftbehälters M.
Humboldt . . . . .	400	1200	20	0,8	15400 ausschl. Grundmauerwerk	nicht ermittelt
Dubois-François . . . . .	350	750	35	0,87	7600 desgleichen	nicht ermittelt
Sturgeon . . . . .	320	400	100	1,33	7800 kein Grundmauerwerk erforderlich.	im Preise der Druckluftpumpen einbegriffen.

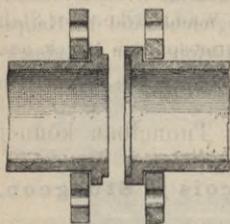
In den kleinen und mittleren Gröſen sind in neuerer Zeit die Schieberluftpumpen, Bauart Burckhardt & Weifs, am meisten verbreitet, während groſſe Kompressoren häufig auch als Ventilluftpumpen gebaut werden. Nasse Luftpumpen werden heutzutage nur noch selten hergestellt. Auch solche mit Wassereinspritzung kommen immer mehr in Abnahme. Die nassen Luftpumpen sind schon wegen ihres langsamen Ganges und der dadurch bedingten Gröſſe und Schwerfälligkeit unzuweckmäſsig. Sowohl nasse Luftpumpen als auch solche mit Wassereinspritzung haben ferner den Nachteil, daſſ die Abnutzung von Kolben und Cylinder viel rascher vor sich geht als bei trockenem. Infolge dessen tritt bei den ersteren schon nach einigen Jahren meist eine nicht unbedeutende Abnahme in der Leistungsfähigkeit ein, während die trockenem viele Jahre lang ohne merkliche Verminderung der Leistung erhalten werden können.

Bis vor einigen Jahren kamen für Maschinenbohrung nur Luftpumpen mit einstufiger Pressung und meist mit Auspuffdampfmaschinen zur Ausführung, während heutzutage die meisten gröſſeren Luftpumpen-Anlagen auf Bergwerken mit zweistufiger Pressung und mit Verbund-Dampfmaschine mit Kondensation trotz der dadurch entstehenden erheblich vergröſſerten Anlagekosten ausgeführt werden. Der Grund liegt in der dadurch erzielten bedeutenden Dampfersparnis. Während eine gröſſere einstufige Luftpumpe mit Auspuffdampfmaschine ungefähr 13 kg Dampf für die Stunde und Pferdekraft erfordert, hat eine zweistufige Luftpumpe mit Verbund-Dampfmaschine und Kondensation nur etwa 7 kg Dampf für die Stunde und Pferdekraft nötig.

**§ 35. Die Rohrleitungen.** Zur Leitung der Druckluft von der Luftpumpe nach den Bohrmaschinen werden in der Regel gewalzte schmiedeiserne Rohre verwendet. Guſſeiserne Rohre sind nicht zu empfehlen, weil sie leicht durch Sprengstücke beschädigt werden. Außerdem sind die schmiedeisernen Rohre leichter und handlicher und es macht keine Schwierigkeit, die dünneren Rohre nötigenfalls kalt zu biegen und so den örtlichen Bedürfnissen anzupassen.

Zur Verbindung der Rohre untereinander werden sie an den Enden mit aufgeschweiften und eingedrehten Bunden und losen Flanschen (siehe Fig. 92) versehen. Zur Dichtung der Rohre werden Gummiringe zwischen die Bunde eingelegt. Die Eindrehung dieser Bunde verhindert ein Ausweichen der Dichtungsringe nach aufsen, wie dies bei glatten Bunden leicht vorkommen kann. Die lichte Weite der Rohrleitungen wird zweckmäſſigerweise beim Betrieb mit 1 bis 2 Bohrmaschinen nicht unter 45 mm, beim Betrieb mit 2 bis 6 Bohrmaschinen nicht unter 65 mm, bei einer gröſſeren Anzahl von Bohrmaschinen entsprechend weiter genommen. Wenn man bei den Druckluftleitungen in Stollen und Querschlägen nicht unter vorstehend angegebene Weiten heruntergeht, so sind die durch die Reibung der Luft in den Rohrleitungen entstehenden Druckverluste auch bei mehreren tausend Meter langen Leitungen sehr gering. Es ist natürlich notwendig, für durchaus gute Dichtung der Verbindungsstellen zu sorgen, was bei der oben beschriebenen Verbindungsart gar keine Schwierigkeiten macht. Die Dichthaltung von Druckluftleitungen ist wie bei Dampfleitungen dadurch erleichtert, daſſ jede undichte Stelle ein deutlich hörbares Geräusch verursacht. Außerdem kommt bei Druckluftleitungen eine Zerstörung der Dichtung, wie bei Dampf- oder Wasserleitungen, kaum vor, sodaſſ eine derartige Druckluftleitung gröſſere Betriebssicherheit bietet, als irgend eine sonstige Kraftübertragung durch Dampf, Wasser oder Elektrizität.

Fig. 92.

*Rohrverbindung.*

Die Rohrleitung wird bis auf etwa 10 m Entfernung vor die Arbeitsstelle geführt und endigt in einem schmiedeisernen Verteilungsrohr, dem sogenannten „Luftverteiler“, an dessen Ventilen Gummischläuche von ungefähr 15 m Länge und 25 mm lichter Weite angeschlossen werden, die die Druckluft den einzelnen Bohrmaschinen zuführen. Die Luftverteiler werden je nach Bedarf mit 2, 3, 4 oder 6 Ventilen ausgeführt. Die Luftschläuche werden meist mit einer Wandstärke von 10 mm und mit 4 Baum-

Die Rohrleitung wird bis auf etwa 10 m Entfernung vor die Arbeitsstelle geführt und endigt in einem schmiedeisernen Verteilungsrohr, dem sogenannten „Luftverteiler“, an dessen Ventilen Gummischläuche von ungefähr 15 m Länge und 25 mm lichter Weite angeschlossen werden, die die Druckluft den einzelnen Bohrmaschinen zuführen. Die Luftverteiler werden je nach Bedarf mit 2, 3, 4 oder 6 Ventilen ausgeführt. Die Luftschläuche werden meist mit einer Wandstärke von 10 mm und mit 4 Baum-

wolleneinlagen hergestellt und zum Schutz gegen äußere Abnutzung mit Spiralfederdraht und mit geeterter Hanfschnur umwickelt.

Außer der Druckluftleitung ist für einen gut eingerichteten Bohrmaschinenbetrieb auch eine Spritzwasserleitung erforderlich. Es wird hierzu meist eine 26 mm-Gasrohrleitung verwendet. Etwa 10 m von der Arbeitsstelle endigt diese in einem schmiedeisernen Verteilungsrohr, dem sogenannten „Wasserverteiler“, der je nach Bedarf mit 2 oder mehr Ventilen ausgerüstet ist. An diese werden Spritzschläuche von 13 mm lichter Weite und 15 m Länge angeschlossen, die mit einem Hahn mit Spritzrohr endigen, sodafs man während des Bohrens Wasser in die einzelnen Bohrlöcher spritzen kann. Es ist keine Frage, dafs die Bohrleistung hierdurch erhöht wird. Bei Bohrmaschinen mit kurzem Hub, wo das Bohrmehl beim Bohren nicht so leicht von selbst aus dem Loch herausgeworfen wird, ist es oft durchaus notwendig, sich der Spritzschläuche zu bedienen. Bei den Arbeitern sind die Spritzschläuche aber mit Recht nicht sehr beliebt, weil ihre Verwendung stets ein Nafswerden der Kleidungsstücke zur Folge hat, was oft nach Beendigung der Arbeitszeit beim Herausgehen aus dem Stollen Veranlassung zu Erkältungen gibt. Es ist daher von besonderer Wichtigkeit, die Bohrmaschinen so zu bauen, dafs nicht unbedingt Spritzwasser beim Bohren erforderlich ist. Andererseits ist es aber in sehr festem Gebirge der hierdurch zu erreichenden höheren Leistungen wegen zu empfehlen, möglichst viele Löcher nafs zu bohren. In vielen Fällen ist es zweckmäfsig, um unnötige Wasserverschwendung und dadurch vermehrtes Nafswerden der Leute zu vermeiden, nicht direkt mit Schläuchen Wasser in die Bohrlöcher zu spritzen, sondern an der Arbeitsstelle durch die Wasserleitung oder aus einem Förderwagen Wasser unmittelbar vor der Arbeitsstelle auf der Sohle auszugiefsen und mit eisernen Bechern in die einzelnen Bohrlöcher zu schütten, wie es auch bei der Handbohrung meist ausgeführt wird.

Früher wurde oft in Verbindung mit dem Bohrwagen ein kleiner Wasserbehälter mit vor die Arbeitsstelle genommen. Dieses Wasser wurde durch Anschlufs an die Druckluftleitung unter Druck gesetzt und durch kurze an den Behältern angeschlossene Schläuche den einzelnen Bohrlöchern zugeführt. Von diesem Verfahren ist man aber abgekommen, weil ein direkter Anschlufs der Spritzschläuche an eine unter Druck stehende Wasserleitung viel einfacher ist, oder weil das Eingiefsen des Wassers mit Bechern vorgezogen wird.

Eine andere Art der Zuführung des Spritzwassers sei hiermit noch erwähnt. Ingenieur Pelzer in Dortmund verwendete seiner Zeit bei der von ihm erfundenen Bohrmaschine hohle Bohrer, durch die das Spritzwasser unmittelbar auf die Sohle des Bohrlochs geführt wurde. Derartige Einrichtungen sind seit einigen Jahren von Ingenieur Bornet in Paris in sorgfältiger Weise ausgebildet und in Frankreich in gröfserer Ausdehnung und mit gutem Erfolg eingeführt worden. Durch diese Einrichtung ist die Leistung der betreffenden Bohrmaschine in französischen Kohlengruben erheblich vergrößert worden. In Deutschland haben derartige Einrichtungen keinen Eingang gefunden, weil man hier mehr bestrebt war, die Leistung der Bohrmaschinen durch längeren Hub zu erhöhen, wodurch das Spritzwasser mehr entbehrlich geworden ist. Es lag daher kein erhebliches Bedürfnis für die immerhin etwas umständliche Umänderung der Maschinen und der Bohrer für die Wasserzuführung durch die hohlen Bohrer vor.

Bei den Brandt'schen hydraulischen Bohrmaschinen werden zur Zuleitung des Druckwassers gewalzte Rohre von 50 bis 80 mm lichter Weite verwendet mit aufgeschweifsten, eingedrehten Bunden und losen Flanschen, wie bei den Druckluftrohren. Nur mufs entweder gröfsere Wandstärke oder Stahl anstatt Schmiedeisen für die Rohre verwendet werden, weil sie oft bis zu 100 Atmosphären Druck aushalten müssen.

**§ 36. Arbeitsbetrieb bei der Maschinenbohrung.** Beim Tunnelbau können der Maschinenbohrung drei verschiedene Aufgaben zufallen und zwar:

1. Das Auffahren des Richtstollens,
2. die Herstellung des Vollausbruchs,
3. das Abteufen und Aufbrechen von Schächten.

Bei den meisten Tunnelbauten kommt nur das Auffahren des Richtstollens mit Bohrmaschinen in Betracht. Der beim Tunnelbau zu erzielende Gesamtarbeitsfortschritt ist fast ausschließlich abhängig von der Fortschrittsleistung im Richtstollen. In diesem ist ein rasches Vorwärtkommen nur mit Bohrmaschinen zu erreichen. Während beim Handbohren in Gebirge von mittlerer Festigkeit höchstens auf 15 bis 25 m Fortschritts-

leistung im Monat zu rechnen ist, kann man mit Bohrmaschinen monatlich 100 m und mehr auffahren.

Anders ist es bei der Herstellung des Vollausbruchs. Nach Auffahrung des Richtstollens kann man zur Ausführung eines Firststollens und zur Herstellung des Vollausbruchs eine größere Anzahl von Arbeitsstellen einrichten, sodafs es fast immer möglich ist, mit dem durch Handbohrung betriebenen Vollausbruch dem Vortrieb des Richtstollens in angemessener Zeit zu folgen. Ob es zweckmäfsig ist, einen zweiten Stollen (Firststollen) und den Vollausbruch ebenfalls mit Bohrmaschinen zu betreiben, hängt von der Härte des Gesteins ab. Ist das Gestein nicht besonders fest, so wird es im allgemeinen am billigsten sein, nur den Sohlenstollen mit Bohrmaschinen, Firststollen und Vollausbruch dagegen von Hand auszuführen. Bei einer gewissen Härte des Gebirges gestaltet sich aber der ganze Tunnelbau einfacher und billiger, wenn auch der Vollausbruch mit Bohrmaschinen und so eine kleinere Anzahl von Arbeitsstellen mit größeren Fortschrittsleistungen betrieben wird. Es macht sich z. B. bei den jetzt in Ausführung begriffenen Eisenbahn-Tunnelbauten in Norwegen und Schweden des sehr festen Gesteins wegen sowohl bei langen als auch bei verhältnismäfsig kurzen Tunneln das Bedürfnis geltend, nicht nur den Richtstollen, sondern auch den ganzen Vollausbruch mit Bohrmaschinen zu betreiben, weil beim Handbetrieb die Fortschritte zu gering sind und eine verhältnismäfsig grofse Anzahl von Arbeitsstellen eingerichtet werden müfste, um beim Vollausbruch gleichen Schritt mit dem Fortschreiten des durch Maschinenbohrung aufgefahrenen Richtstollens zu halten. Es kommt hierbei auch noch der Umstand in Betracht, dafs es in den betreffenden schwach bevölkerten Gegenden Norwegens und Schwedens ganz besonders schwierig ist, die erforderlichen, im Handbohren geübten Arbeiter zu bekommen, während es eher möglich ist, für die Maschinenbohrung geeignete Leute in der erforderlichen geringeren Anzahl heranzuziehen.

In sehr festem Gestein empfiehlt es sich, den Sohlenstollen, der dann am besten nicht in der Mitte, sondern dem einen Stofs des Tunnels entlang aufgefahren wird, durch tiefe Bohrlöcher in Stofs und First zu erbreitern und zu erhöhen und den ganzen oberen Teil des Tunnelprofils von einem Gerüst aus, wie dasselbe in § 33 dargestellt ist, abzubohren. Auf diese Weise läfst sich bei Verwendung von handlichen Stofsbohrmaschinen der ganze Vollausbruch beinahe ohne Bohren von Handlöchern ausführen.

Für solche Fälle ist die Stofsbohrmaschine zweckmäfsiger, als die hydraulische Drehbohrmaschine. Es ist schwierig, die letztere für Vollausbruch zu verwenden und man ist daher im allgemeinen genötigt, bei Verwendung der hydraulischen Bohrmaschine entweder sich auf die maschinelle Auffahrung des Sohlenstollens zu beschränken, oder für den Vollausbruch noch eine besondere Anlage für Stofsbohrmaschinen einzurichten, wie es z. B. thatsächlich auf der einen Seite des Gravehals-Tunnels in Norwegen geschehen ist, wo der Sohlenstollen mit Brandt'schen Drehbohrmaschinen, der Vollausbruch dagegen mit Frölich'schen Stofsbohrmaschinen ausgeführt wird.

Bei der Einrichtung der Maschinenbohrung zur Auffahrung eines Stollens kommt zunächst in Betracht, in welcher Weise die Arbeit beschleunigt werden soll. Je mehr Bohrmaschinen gleichzeitig vor Ort arbeiten, um so höher stellen sich die Kosten der Auffahrung für das Meter. Wenn es sich darum handelt, einen Stollen mit möglichst geringen Kosten und mit mäfsiger Beschleunigung aufzufahren, so ist es in manchen Fällen zu empfehlen, nur mit einer Bohrmaschine vor Ort zu arbeiten. Wenn ein derartiger Betrieb gut eingerichtet und dafür gesorgt wird, dafs stets eine zweite Bohrmaschine zur Verfügung steht, kann man je nach der Härte des Gebirges monatlich 20

bis 40 m auffahren. In der Mehrzahl der Fälle genügt aber diese Beschleunigung nicht und man verwendet vor Ort im allgemeinen zwei gleichzeitig arbeitende Bohrmaschinen. Bei einem solchen Betrieb kann man je nach der Härte des Gebirges monatlich 40 bis 80 m auffahren. In dieser Weise wird im Berg- und Tunnelbau in den meisten Fällen gearbeitet. Wo aber sehr lange Stollen aufgefahren werden müssen, wie es bei großen Eisenbahntunneln meist der Fall ist, genügt auch die Arbeit mit 2 Bohrmaschinen nicht und es müssen deren vier gleichzeitig arbeitende vor Ort verwendet werden. Bei einem solchen Betrieb können in mittlerem Gebirge im allgemeinen 80 bis 120 m Stollen monatlich aufgefahren werden. Es kann sogar bei guter Einrichtung des Bohrbetriebs und der Förderung die Leistung bis auf 150 m durchschnittliche Stollenauffahrung im Monat gebracht werden.

Mit mehr als vier Bohrmaschinen vor Ort zu arbeiten, ist im allgemeinen nicht zu empfehlen, weil es bei den meist üblichen Stollenbreiten von 2 bis 3 m einige Schwierigkeit macht, mehr Bohrmaschinen so zu verwenden, daß die einzelnen Bohrlöcher eine für die Sprengwirkung günstige Lage erhalten. Die Verwendung von mehr als vier Bohrmaschinen vor Ort führt daher meist eine gewisse Verschwendung an Sprengmaterial herbei, die in ungünstigem Verhältnis zu der erzielten Mehrleistung steht. Aber immerhin kann in einzelnen Fällen, wo eine ganz besondere Beschleunigung der Arbeit in sehr festem Gebirge nötig ist, der Betrieb mit 6 Bohrmaschinen vor Ort zweckmäßig sein.

Beim Betrieb mit zwei Bohrmaschinen werden zwei Bohrsäulen je mit einer Bohrmaschine verwendet. Es empfiehlt sich, die Bohrsäulen senkrecht möglichst nahe am Stofs des Stollens aufzustellen. Beim Betrieb mit 4 Bohrmaschinen wird in der Regel ebenfalls mit 2 nahe am Stofs aufgestellten Bohrsäulen, jede mit 2 Bohrmaschinen, gearbeitet. Beim Betrieb mit fünf oder sechs Bohrmaschinen wird eine dritte Bohrsäule in der Mitte des Stollenprofils senkrecht aufgestellt.

Was die Breite des Stollens betrifft, so soll sie beim Betrieb mit einer Bohrmaschine nicht unter 1,60 m, beim Betrieb mit zwei oder vier Bohrmaschinen nicht unter 2 m, beim Betrieb mit sechs Maschinen nicht unter 2,5 m betragen. Bei vorstehend angegebenen Breiten ist es eben noch möglich, den einzelnen Bohrlöchern eine für die Sprengwirkung günstige Lage zu geben. Geringere Breiten würden einen zu hohen Verbrauch an Sprengmitteln erfordern. Größere Breiten dagegen sind für die Sprengwirkung und den Dynamitverbrauch günstiger und sollten stets angewendet werden, falls nicht andere Gründe dagegen sprechen. Die Höhe des Stollens wird am zweckmäßigsten auf 2 bis 2,50 m festgesetzt. Falls eine größere Stollenhöhe erforderlich ist, empfiehlt es sich, die Mehrhöhe nachträglich auszuschiefen und die hierzu erforderlichen Bohrlöcher mit Bohrmaschinen in der Weise zu bohren, daß die Bohrsäule in den noch nicht erhöhten Teil des Stollens zu stehen kommt. Ist eine nachträgliche Erbreiterung des Stollens in Aussicht zu nehmen, so empfiehlt es sich der Kosten wegen, den Stollen stets so aufzufahren, daß die Erbreiterung nur auf einer Seite auszuführen ist.

Die Anordnung der einzelnen Bohrlöcher beim Auffahren eines Stollens ist je nach der Härte und der Schichtung des Gebirges verschieden. Bei geschlossenem Gebirge empfiehlt es sich im allgemeinen, die Löcher nach einem bestimmten Schema zu bohren, das nur in der Anzahl der Löcher je nach der Härte des Gebirges wechselt, in der ganzen Anordnung aber beibehalten wird. Ein Beispiel einer zweckmäßigen Anordnung von Bohrlöchern für geschlossenes Gebirge zeigen die Fig. 93 u. 94 (S. 104). Sie weist 20 Bohrlöcher auf, die alle von zwei nahe an den Stöfsen aufgestellten Bohrsäulen aus, also ohne Versetzen der Säulen während der Bohrarbeit, gebohrt sind. Die Anzahl

Fig. 93 u. 94.

## Anordnung von Bohrlöchern für geschlossenes Gebirge. M. 1:90.

Fig. 93.

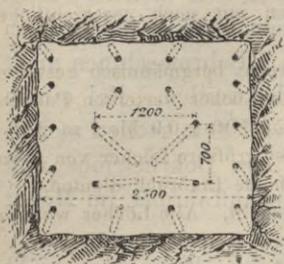
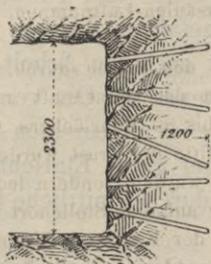


Fig. 94.



wird, das den Ladungen der anderen Bohrlöcher eine möglichst günstige Sprengwirkung sichert.

Eine derartige Anordnung hat sich in vielen verschiedenen Gebirgsarten gut bewährt und es ist nicht schwer, an der Hand dieser Skizze für jedes geschlossene Gebirge die nötige Anzahl und Anordnung der Bohrlöcher, sowie die erforderliche Lochtiefe, die meist zwischen 1,20 und 1,80 m betragen muß, herauszufinden. Eine wesentliche Abweichung von dieser Anordnung ist nur bei stark ausgeprägter Schichtung des Gebirges und beim Vorhandensein von Flächen, auf denen sich das Gestein besonders leicht abhebt, zur Ersparung von Sprengmaterial angezeigt.

Außer bei der Herstellung des Richtstollens und des Vollausschlags können die Bohrmaschinen auch beim Schachtabteufen verwendet werden. Doch bietet hierbei das Maschinenbohren nicht solche Vorteile bezüglich der Beschleunigung der Arbeit, wie beim Auffahren von Stollen. Es liegt dies daran, daß beim Schachtabteufen das Herausholen der weggeschossenen Berge und des zufließenden Wassers, sowie unter Umständen das Einbauen von Pumpen eine viel größere Rolle spielt als beim Stollenbetrieb und oft einen sehr großen Teil der Arbeitszeit in Anspruch nimmt, sodaß die eigentliche Bohrarbeit mehr in den Hintergrund tritt und oft den kleineren Teil der ganzen Arbeitszeit erfordert. Die Maschinenbohrung ist daher beim Schachtabteufen nur zu empfehlen, wenn sehr festes Gebirge zu durchteufen ist. Ausgedehnte Anwendung findet die Maschinenbohrung beim Aufbrechen von Schächten von unten nach oben, weil hierbei das Wegschaffen der Berge viel weniger Zeitaufwand erfordert, als beim Abteufen und auch durch Wasser die Bohrarbeit in der Regel nicht gestört wird. Das Aufbrechen von Schächten kommt aber mehr beim Bergbau und nur selten beim Tunnelbau vor.

Bezüglich des Arbeitsbetriebs bei der Verwendung von Brandt'schen Drehbohrmaschinen wird auf die in § 39 gegebenen Beispiele verwiesen.

### § 37. Beispiele ausgeführter Bohrungen mit Stofsbohrmaschinen.

1. Richtstollen des Mont Cenis-Tunnels (12200 m lang). Der erste Sprengschuß wurde auf der Seite von Modane (Nordseite) am 18. August 1857, auf der Seite von Bardonnèche (Südseite) am 14. November 1857 abgefeuert. Die Einführung des Maschinenbohrens im Richtstollen geschah erst am 12. Januar 1861 und zwar auf der Seite von Bardonnèche; auf der anderen Seite erst im Januar 1863. Der Durchschlag erfolgte am 25. Dezember 1870.

Gebirgsbeschaffenheit. Das zu durchfahrende Gebirge bestand in der Reihenfolge von Modane nach Bardonnèche auf 2000 m Länge aus Schiefersandstein, 400 m aus massigem Quarz, 300 m aus massigem Kalkstein und auf 9500 m Länge aus Kalkschiefer.

Die Richtung des Tunnels war ziemlich senkrecht zum Streichen der Schichtung, jedoch kamen Abweichungen bis zu 35° und 50° vor.

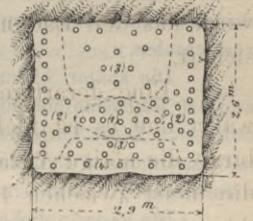
**Querschnitt.** Der Richtstollen (Sohlenstollen) wurde anfangs in einem Querschnitt von rund 3 m Breite und 3 m Höhe, später in 2,9 m Breite und 2,6 m Höhe aufgeföhren.

**Maschinenanlage.** Es wurden ausschließlicb Sommeiller's Bohrmaschinen angewendet und zwar waren vor jedem Ort deren 8 bis 10 auf einem fahrbaren Gestell gleichzeitig in Betrieb. Die angewandten Luftpumpen, Sommeiller's Wassersäulen-Luftpumpen, haben nur noch geschichtliche Bedeutung.

**Angriffsart.** Man war weniger bestrebt, den Felsen durch regelrecht bergmännisch gestellte Löcher zu lösen, als ihn vielmehr durch die Gewalt des massenhaft in viele Löcher verteilten Pulvers zu zerschmettern. Das Stollenort wurde mit 70 bis 80 Bohrlöchern von im Mittel 0,9 bis 1 m Tiefe und 25 bis 32 mm Durchmesser besetzt. In der Mitte der Brust wurden drei gröfßere Löcher von etwa 8 cm Durchmesser gebohrt, die aber nicht geladen wurden, sondern lediglich als Einbruch dienten.

In Fig. 95 ist die Verteilung der Bohrlöcher auf dem Stollenort dargestellt. Alle Löcher wurden in einem Angriff gebohrt, dann die drei ersten, in der Figur mit Ziffern bezeichneten Gruppen gleichzeitig geladen und nacheinander in der Reihenfolge ihrer Bezeichnung abgeschossen. Nach Wegräumung des gelösten Gesteins wurden schließlich die in der Sohle angesetzten Schüsse (4) geladen und abgeschossen. Als Sprengmaterial wurde Schwarzpulver benutzt, das mittels gewöhnlicher Zündschnur entzündet wurde. Das Bohren dauerte in der Regel 6 bis 8 Stunden, das Laden und Feuern 1½ bis 2 Stunden und das Fördern 3 bis 5 Stunden, sodass in 24 Stunden kaum zwei Angriffe gemacht werden konnten. An Arbeitspersonal waren im Jahre 1865 bei den Bohrmaschinen in jeder Schicht 37 bis 44 Mann thätig.

Fig. 95.



**Leistung.** Es wurden monatlich im Jahre 1862 auf der Nordseite durchschnittlich 32,5 m Stollen aufgeföhren, welcher Fortschritt sich bis zum Jahre 1870 auf 74,12 m steigerte. Der mittlere monatliche Fortschritt betrug in den drei letzten Baujahren auf der Südseite 65,4 m, auf der Nordseite 56,5 m, während in den ersten Jahren mit Handbetrieb im Durchschnitt im Monat auf der Südseite nur 20,14 m, auf der Nordseite nur 19,20 m Fortschritt erzielt wurde.

**Kosten.** Die Kosten für 1 m Richtstollen ausschließlicb Beschaffung, Unterhaltung und Betrieb der Druckluftpumpen, sowie ausschließlicb der Kosten der Förderbahnen, der Zimmerung und der Verwaltung berechnen sich nach Dr. Stapff für die Nordseite wie folgt: Anschaffung und Unterhaltung der Bohrmaschinen 166 M., Pulver 49 kg zu 1,8 M. = 88 M., Zündschnur 200 m zu 0,042 M. = 8,4 M., Arbeitslohn 190,4 M., Summa rund 453 M. — Danach kostet 1 cbm gelöster Masse bei einem Stollenquerschnitt von 8,16 qm, Beschaffung und Unterhaltung der Bohrmaschinen 20,3 M., Pulver 10,7 Mk., Zündschnur 1,0 M., Arbeitslohn 23,4 M., zusammen rund 56 M.

**2. Richtstollen des St. Gotthard-Tunnels<sup>34)</sup>** (14900 m lang). Die Maschinenarbeit begann auf der Nordseite (Göschenen) im April 1873, auf der Südseite (Airolo) im Juli desselben Jahres. Der Durchschlag erfolgte am 29. Februar 1880.

**Gebirgsbeschaffenheit.** Die Hauptmassen des St. Gotthard bestehen aus Gneisgranit, Glimmerschiefer (vorwiegend), auch Hornblende und Serpentin. (Im Serpentin ist der Tunnel teilweise ohne Mauerung geblieben.) Das Streichen der Schichten bildete zur Tunnelachse einen Winkel von 45° bis 80°; das Einfallen derselben betrug 70° bis 90°.

**Querschnitt.** Der Querschnitt des Richtstollens (hier Firststollen) war gewöhnlich 2,5 m weit und 2,6 m hoch, jedoch wechselten die Abmessungen je nach Gebirgsbeschaffenheit und etwa nötiger Ausmauerung. Nach Dolezalek betrug der Querschnitt in der Regel 5 bis 7 qm (2,5 m × 2,6 m), selten 7 bis 9 qm.

**Maschinenanlage.** Diese war nicht allein für den Richtstollen, sondern auch für die Bohrmaschinenarbeit in der seitlichen Erweiterung und im Sohlenschlitz, ferner für Lüftung des Tunnels und für Förderung mit Luft-Lokomotiven bestimmt. Die Luftpumpen wurden durch Wasserkraft betrieben. Auf der Nordseite wurde das Betriebswasser der Reufs entnommen, es standen hier bei Annahme der kleinsten Wassermenge (1,5 cbm in der Sekunde bei 93 m Druckhöhe) 1800 Pferdekkräfte, die durch Verluste in den Leitungen auf 1500 Pferdekkräfte vermindert wurden, zur Verfügung. Auf der Südseite entnahm man das Betriebswasser anfänglich lediglich der Tremola. Der Ablagerungsbehälter, in dem

<sup>34)</sup> Die Angaben sind den interessanten Aufsätzen von Prof. Dolezalek: „Über den Firststollenbetrieb im Gotthard-Tunnel“ und „Lufttransmission im Gotthard-Tunnel“ in der Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878 und 1880 entnommen.

man das Wasser derselben auffing, lag 180 m über dem Einlauf in die Turbinen, sodafs die Tremola bei einer Wassermenge von 0,1 cbm in der Minute (häufig war dieselbe geringer), nur 240 Pferdekkräfte lieferte, die durch Verluste in der Leitung noch vermindert wurden. Diese Arbeitskraft erwies sich sehr bald als zu klein und man war genötigt, daneben noch das Wasser aus dem Tessin zu Hilfe zu nehmen, das man durch eine besondere Leitung den Turbinen zuführte. Die Druckhöhe von dem Ablagerungsbehälter bis zu letzteren betrug 90 m, die geringste Wassermenge in der Sekunde 0,95 cbm, sodafs dadurch eine Wasserkraft von 1140 Pferdekkräften gewonnen wurde, welche durch Druckverluste auf 980 Pferdekkräfte vermindert wurden. Im ganzen standen demnach auf der Südseite 1220 Pferdekkräfte zur Verfügung. Die ursprüngliche Maschinenanlage bestand auf der Nordseite aus 4 Girard-Turbinen mit wagerechter Achse, jede mit 2,4 m Durchmesser und 80 Radschaufeln, die bei 100 bis 120 Umdrehungen in der Minute je 175 bis 210 Pferdekkräfte lieferten. Diese 4 Turbinen bewegten 5 Gruppen Druckluftpumpen (mit Wassereinspritzung — Roy & Comp.) mit je 3 Cylindern von je 420 mm Durchmesser, 650 mm Hub und 50 bis 60 Umdrehungen in der Minute, welche die Luft auf 6 bis 7 Atmosphären zusammenpresften. Ferner bewegten sie noch weitere 4 kleine Kompressoren (System Colladon), die die für den Luft-Lokomotivbetrieb nötige Luft von 6 bis 7 Atmosphären auf 11 bis 12 Atmosphären verdichteten.

Die später hinzugekommene Maschinenanlage bestand aus: 2 Turbinen mit 5,1 m Durchmesser und 240 Radschaufeln, die bei 30 bis 40 Umdrehungen in der Minute 140 bis rund 190 Pferdekkräfte nutzbar lieferten. Diese Turbinen bewegten je 2 Druckluftpumpen (mit Wassereinspritzung — System Colladon) mit zusammen 4 Cylindern von je 620 mm Durchmesser und 900 mm Hub; die Kolben machten bei unmittelbarer Kraftübertragung 30 bis 40 Doppelhübe in der Minute.

Die ursprüngliche Maschinenanlage auf der Südseite bestand aus 4 Tangentialrädern (1,2 m Durchmesser) mit senkrechter Achse für 180 m Gefälle, und 4 Partialturbinen (System Girard, 0,75 m Durchmesser) für 90 m Gefälle, die auf derselben Achse mit den Tangentialrädern angeordnet waren und vom Tessin-Wasser betrieben wurden, sobald das Tremola-Wasser nicht ausreichte. Sie bewegten 5 Gruppen-Kompressoren mit je 3 Cylindern von 460 mm Durchmesser und 450 mm Hub bei einer Kolbengeschwindigkeit von anfangs 1,35 m, sodann 1,2 m in der Sekunde; außerdem 4 kleine Kompressoren von derselben Bauart, ebenfalls zum Zwecke des Lokomotivtransports wie auf der Nordseite. Die später hinzugekommene Anlage entsprach genau der späteren Anlage auf der Nordseite.

Die Druckluft wurde in Trockenapparate geleitet, um das aufgenommene Wasser möglichst abzusetzen, ging sodann durch einen Druckregulator und gelangte von hier in die Sammelbehälter. Dieser waren auf jeder Seite 2 gröfsere und 4 kleinere aufgestellt. Die gröfsere waren je 50 m lang und hatten einen Durchmesser von 2 m, daher zusammen einen Fassungsraum von 310 cbm (76 t Gewicht). Einer dieser beiden Sammelbehälter wurde später in den Tunnel gebracht, um dort die Druckunterschiede auszugleichen. Die kleineren mit 9 m Länge und 1,5 m Durchmesser nahmen die auf 12 Atmosphären gepresfte Luft für Lokomotivspeisung auf. — Die von den Sammelbehältern ausgehende Luftleitung bestand aus gußeisernen und schmiedeisernen Rohren mit festen Flanschen, deren Weite von 200 mm auf 100 mm und 60 mm übergang.

Von Gesteinsbohrmaschinen waren in letzterer Zeit auf der Nordseite Maschinen von Ferroux, auf der Südseite Mac Kean-Seguın-Maschinen ausschließlic in Benutzung. Die Maschinen waren auf fahrbaren Gestellen zu je 6 bis 7 Stück gelagert.

Fig. 96 bis 98. Bohrlöcher beim Richtstollen des St. Gotthard-Tunnels.

Fig. 96.

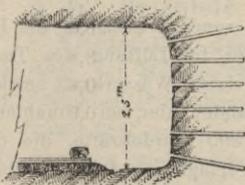


Fig. 97.

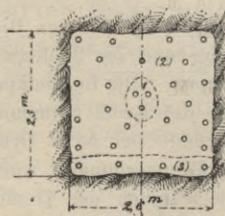
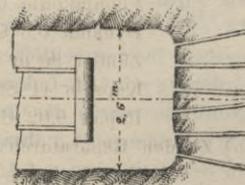


Fig. 98.



Angriffsart. Um bei jedem Bohrangriff 1 m Stollenfortschritt zu erzielen, wurden je nach dem Gestein 13 bis 30 Löcher von 1 m bis 1,2 m Tiefe und 40 mm mittlerem Durchmesser gebohrt. Die Stellung der Bohrlöcher auf der Ortfäche und ihre Richtung ist aus den Fig. 96 bis 98 ersichtlich.

Nach Herstellung sämtlicher Löcher wurde der Bohrwagen auf dem Stollengleise um 20 bis 25 m zurückgeschoben und mit dem Schiessen begonnen. Man benutzte ausschließlich Dynamit und gewöhnliche Zündschnüre. Die letzteren erhielten gleiche Längen von rund 1,5 m mit einer Brenndauer von rund 3 Min. Das Anzünden der einzelnen Schnüre erfolgte nacheinander in kurzen Zwischenzeiten, sodafs dementsprechend auch die einzelnen Schüsse nacheinander zur Explosion gelangten. Während und nach dem Feuern liefs man einen starken Strom Druckluft gegen das Ort ausströmen, um die Arbeitsstelle möglichst rasch wieder zugänglich zu machen.

Das Abbohren eines Ortes dauerte 3 bis 5 Stunden, das Feuern und Wegräumen der gelösten Massen 3 bis 4 Stunden, sodafs gewöhnlich in 24 Stunden 4 Angriffe gemacht wurden, wobei ein Fortschritt von 4 m erreicht werden konnte. Für die verschiedenen Arbeiten eines Angriffs, für das Bohren, für das Besetzen und Feuern und für das Wegräumen und Fördern der gelösten Massen wurden je besondere Mannschaften verwendet. Für die Bohrarbeit waren an Mannschaften erforderlich: 1 Postenchef, 2 Maschinisten, 8 Gehilfen und 4 Handlanger, im ganzen 15 Mann. Das Besetzen und Feuern geschah durch zwei besonders hierfür bestimmte Feuerwerker, die auch für die nötige Vorbereitung (Erwärmung des Dynamits u. s. w.) Sorge zu tragen hatten. Für das Verladen des Schuttes und den Transport desselben in die nächste Weiche, sowie für das jedesmalige Verlängern des Gleises bis vor Stollenort waren ein Postenfürher und 15 Schlepper erforderlich.

Leistung. Der Fortschritt des Richtstollens betrug durchschnittlich monatlich: Auf der Nordseite: im Jahre 1872 = 9,45 m (Handbetrieb); 1873 = 48,5 m; 1874 = 86,4 m; 1875 = 97,8 m; 1876 = 83,8 m; 1877 = 102 m; 1878 = 109 m; 1879 = 98 m. Auf der Südseite: im Jahre 1872 = 25,4 m (Handbetrieb); 1873 = 41,2 m; 1874 = 62,3 m; 1875 = 104,7 m; 1876 = 85 m; 1877 = 83 m; 1878 = 102,4 m; 1879 = 96,5 m.

Der durchschnittliche Tagesfortschritt im Stollen betrug für die ganze Bauzeit vom 1. Oktober 1872 bis 29. Februar 1880 = 5,5 m, daher durchschnittlich 2,75 m auf jeder Seite. Rechnet man Handarbeit ab, so stellt sich der Fortschritt =  $14920 - 306 = 14614$  in 2482 Tagen =  $\frac{14614}{2482} = 5,88 = 5,9$  m für den Tag für die reine Maschinenarbeit (abgerundet 3 m auf jeder Seite).

Kosten. Bezüglich der Kosten entnehmen wir gefälligen Mitteilungen des Herrn Professor Dolezalek die nachstehende Tabelle, welche die Leistungen und ungefähren Durchschnittskosten aus den ersten drei Monaten des Jahres 1875 enthält. — Von demselben werden die Gesamtkosten für den Meter Firststollen einschliesslich Verzinsung und Tilgung der Anlagekosten innerhalb der Grenzen von 320 bis 640 M. angegeben.

**Durchschnitts-Kosten und -Leistungen beim Firststollen-Betriebe des Gotthard-Tunnels im ersten Vierteljahr des Jahres 1875 für ein Meter Stollen bei einem mittleren Querschnitte von 6,1 qm und einem mittleren Tagesfortschritt von 3 m in sehr festem Gneisgranit.**

1. Verdingung und Lohn. M.

An Stücklohn für die Mineure und Schütter wurde gezahlt . . . . .	160,0
An Gehalt und Lohn für das gesamte übrige Personal, wie Ingenieure, Werkführer, Aufseher, Lokomotivführer, sämtliche Werkstätten-Arbeiter u. s. w., auf den Richtstollen nach ungefährer Rechnung verteilt . . . . .	70,0

2. Material.

a) Zur Erzeugung der Druckluft und zum Laden der Bohrlöcher:	M.
Schmieröl 0,08 Ctr. zu 4,7 M. . . . .	3,8
Flammkohle 0,23 Ctr. zu 4 M. . . . .	0,9
Dynamit 0,6 Ctr. zu 160 M. . . . .	96,0
Zünder 80 m zu 0,048 M. . . . .	3,8
Kapseln 41 Stück zu 0,016 M. . . . .	0,6
Papier 0,02 Ctr zu 40 M. . . . .	0,8
b) Zu den Reparaturen:	
Schmiedkohle 2,98 Ctr. zu 4 M. . . . .	11,9
Schmiedeisen 0,2 Ctr. zu 32 M. . . . .	6,4
Gufsstahl 0,31 Ctr. zu 96 M. . . . .	30,0
Bronze 0,03 Ctr. zu 96 M. . . . .	2,9
Schaufel-, Pickel- und Hammerstiele . . . . .	0,7

Gesamtkosten für einen Meter Stollen . . . . . 387,8

3 Leistungen		M.
Anzahl der Bohrlöcher		20,6
Mittlere Weite derselben, Millimeter		40,0
Mittlere Bohrlochtiefe, Meter		1,1
Bohrleistung für eine Maschine in der Minute bei 3 Atm. nutz. Luftdruck, Millimeter		13
Anzahl der Bohrmaschinen vor Ort		6
Zeit für die Herstellung sämtlicher Löcher bei einem Bohrangriff, Stunden		4,73
Zeit für das Wegräumen des Schuttes, Stunden		3,27
Anzahl der ausgewechselten Bohrer		283

Anmerkung. Der große Verbrauch an Sprengmaterial hat darin seinen Grund, daß nach dem Abschließen vielfach lange Büchsen stehen blieben, die mit neuer Ladung versehen wurden — einzelne Löcher mußten auf diese Weise dreimal geladen werden.

**3. Richtstollen des Hoosac-Tunnels** (7600 m lang). Der Hoosac-Tunnel (in Massachusetts) ist im Jahre 1854 begonnen, doch wurde erst im Juni 1866 das Auffahren des Richtstollens durch Gesteinsbohrmaschinen dauernd eingeführt. Der Angriff geschah von vier Punkten, von den beiden Mundlöchern und von einem mittleren Schachte aus. Der Durchschlag nach Osten erfolgte am 12. Dezember 1872, der nach Westen am 27. November 1873.

**Gebirgsbeschaffenheit.** Glimmerschiefer, der in glimmerartigen Gneis übergeht, ferner Konglomerate und granitartiger Gneis.

**Querschnitt.** Der Richtstollen war anfänglich 1,8 m hoch und 3,35 m breit, später 1,8 m hoch und 4,57 m breit; endlich vom 1. Oktober 1867 an nahm man die ganze Kalotte 2,4 m hoch und 7,3 m breit auf einmal heraus.

**Maschinenanlage.** Die Luftpumpen, von dem Chef-Ingenieur des Tunnels Thomas Doane entworfen, wurden zum Teil durch Dampf, zum Teil durch Wasserkraft getrieben. Die Bohrmaschinen (System Burleigh) waren zu je drei auf fahrbaren Stellen gelagert.

Fig. 99 u. 100. Angriff des Richtstollens vom Hoosac-Tunnel.

Fig. 99. Anordnung der Bohrlöcher.

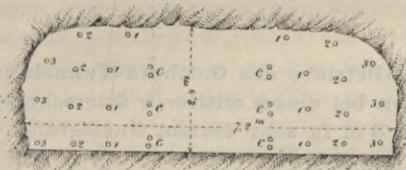
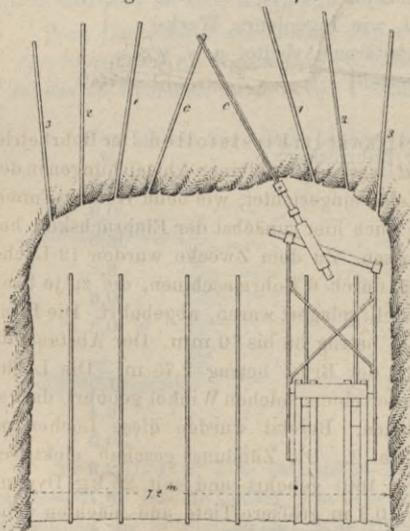


Fig. 100. Grundrifs.



**Angriffsart.** Bei dem Stollenbetrieb des Hoosac-Tunnels kam in den letzteren Baujahren die amerikanische Arbeitsmethode (*Centre cut*) zum erstenmale zur Anwendung. Dabei waren in dem 7,3 m breiten Stollen gleichzeitig zwei Bohrgestelle vor Ort in Betrieb (Fig. 99 u. 100); ein drittes, mittleres Gleis diente zum Fördern der Berge und zum Herbeischaffen der erforderlichen Materialien. Der Ortstofs wurde mit durchschnittlich 40 Bohrlöchern von 2,5 bis 4 m Tiefe und 50 mm Weite besetzt. Man bohrte zunächst 12 Einbruchslöcher *c*, deren Ansatz und Richtung aus den Figuren ersichtlich; diese wurden nach Fertigstellung geladen und abgeschossen. Nach Wegräumung der Berge wurden die mit 1 bezeichneten Löcher gebohrt und ebenfalls für sich abgeschossen; in gleicher Weise nacheinander die Bohrlochgruppen 2 und 3. Es wurde in 8stündigen Schichten gearbeitet. Auf eine Schicht kamen im Durchschnitt: 6 Bohrmaschinen, Bohrzeit 232 Minuten, Anzahl der gebohrten Löcher 12 Stück, Gesamttiefe der Löcher 43 m, durchschnittliche Tiefe eines Loches 3,6 m, durchschnittliche Lochtiefe für die Minute und Maschine 31 mm, Auswechslung der Bohrer 694 mal, Lochtiefe für den Bohrer 63 mm. Als Sprengmaterial wurde für die Einbruchslöcher Nitroglycerin, für die übrigen Löcher Mica-Pulver verwandt.

**Leistung.** Der durchschnittliche Fortschritt betrug im letzten Betriebsjahre auf der Ostseite (1872) für den Tag vom Mundloch aus 1,34 m, vom Mittelschacht aus 1,08 m; auf der Westseite im Jahre 1873 vom Mundloch aus 1,32 m, vom Mittelschacht aus 1,56 m. Der größte Fortschritt betrug 2,15 m für den Tag, dagegen bei Handbohrung nur 0,47 m.

**Kosten.** In dem östlichen Stollen kostete die Herstellung der Bohrlöcher durchschnittlich für ein Meter 6,3 M., wovon entfielen: auf Bohrarbeit und Aufsicht 3,67 M., auf Schlosserarbeit 1,3 M., auf Schmiedearbeit 0,72 M., auf Materialverbrauch 0,33 M., auf Verzinsung und Tilgung der Anlage 0,55 M. Das Handbohren kostete dagegen in demselben Gestein 14,65 M. In dem westlichen Stollen kostete die Herstellung der Bohrlöcher mittels Maschinen für ein Meter 11,2 M., mit Handarbeit dagegen 20,5 M.

**4. Richtstollen des Musconetcong-Tunnels in New-Jersey** (1500 m lang). Der westliche Richtstollen wurde am 13. November 1872 begonnen, der östliche im Juni desselben Jahres. Der Durchschlag erfolgte am 15. Dezember 1874

**Gebirgsbeschaffenheit.** Es wurden 234,7 m weiches Gebirge, 140,21 m Kalkstein und 1137,21 m Syenit und Syenit-Gneis durchfahren.

**Querschnitt.** Der westliche Richtstollen war 2,3 m hoch und 7,9 m weit, der östliche Richtstollen 2,1 m hoch und 7,9 m weit, wobei das Profil in der First an den Seiten abgerundet war.

**Maschinenanlage.** Im ganzen waren 26 Stück Ingersoll-Gesteinsbohrmaschinen vorhanden, von denen stets 16 bis 18 Stück in Betrieb waren, davon 6 in jedem der beiden Firststollen, die übrigen im Vollaussbruch. Man hatte anfänglich Maschinen von 76 mm und 102 mm Cylinderdurchmesser versucht, entschied sich aber später für solche von 127 mm Durchmesser. Vor Ort waren diese auf zwei fahrlaren Gestellen zu je 3 Maschinen gelagert. Die Maschinen arbeiteten im Mittel mit 4 Atm. Luftdruck. — Die Druckluftanlage bestand auf der Westseite aus Burleighs Two-Drillings-Kompressoren; 4 derselben reichten zum Betriebe von 9 Bohrmaschinen aus, die gewöhnlich in der Kalotte und im Vollaussbruch in Betrieb waren. 4 Kessel von je 45 Pferdekraft lieferten den nötigen Dampf. Auf der Ostseite waren 4 Kompressoren von Rand und Waring, mit wagerechtem Luftcylinder und schwingendem Dampfcylinder in Betrieb, 5 große Lokomotivkessel von 50 Pferdekraft gaben die Betriebskraft. Die Leitungsrohre für die Druckluft hatten 127 mm Durchmesser. Die Länge der Leitung betrug schliesslich 900 m. Der Druckverlust überstieg selten 0,1 bis 0,2 Atm. und war gewöhnlich noch geringer.

Fig. 101 u. 102. *Strossenabbau im Musconetcong-Tunnel in New-Jersey.*

Fig. 101.

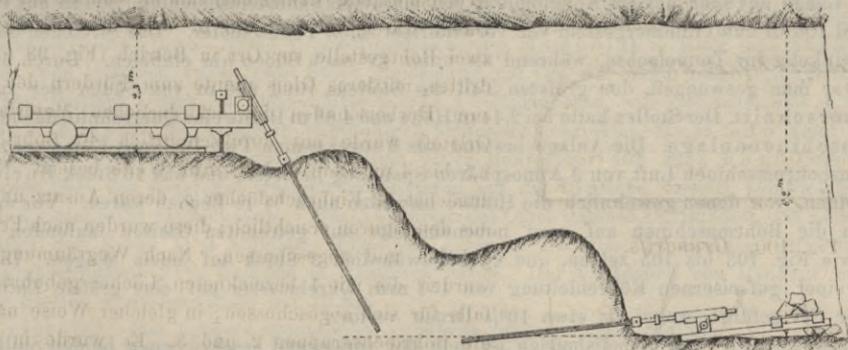
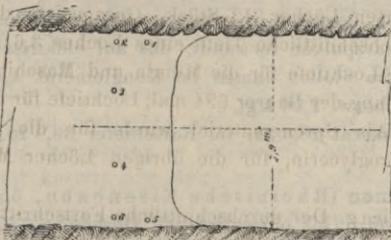


Fig. 102. *Grundriss.*



**Angriffsart im Firststollen.** Der Bohrbetrieb (*Centre cut*) war hier mit kleinen Abweichungen in derselben Weise eingerichtet, wie beim Hoosac-Tunnel. Es wurde auch hier zunächst der Einbruchskeil herausgeschossen. Zu dem Zwecke wurden 12 Löcher (*c*, Fig. 99) durch 6 Bohrmaschinen, die zu je 3 auf einem Gestell gelagert waren, abgebohrt. Die Breite der Meißel betrug 38 bis 70 mm. Der Abstand der Löcher an der Brust betrug 2,75 m. Die Löcher wurden unter einem solchen Winkel gebohrt, dass sie

sich in einer Entfernung von etwa 3 m von der Brust berührten. Besetzt wurden diese Löcher mit zusammen 11,5 kg Dynamit No. 1 und etwa 25 kg Dynamit No. 2. Die Zündung geschah elektrisch. Nach Wegräumen der Berge wurden die Löcher 1 (Fig. 99 u. 100) gebohrt und mit 25 kg Dynamit No. 2 geladen und abgeschossen. Diese erhielten eine um etwa 0,3 m grössere Tiefe und machten daher in der Regel auch den Einbruch um so viel tiefer. Es folgte dann nacheinander das Bohren und Ab-

schießen der Lochgruppen 2 und 3. Die Richtung, Tiefe und Anzahl dieser Löcher waren von der Schichtung des Gesteins und dem mehr oder weniger günstigen Einbruch, den die Löcher *c* geschaffen hatten, abhängig. Nachstehende Tabelle XII giebt annähernd die Anzahl und Tiefe der Löcher, die für einen Stollenfortschritt von etwa 3 m erforderlich waren.<sup>95)</sup>

Tabelle XII. Anzahl und Tiefe der Bohrlöcher für einen Stollenfortschritt von etwa 3 m.

	Anzahl der Bohrlöcher	Tiefe derselben m	Summe der Tiefen aller Bohrlöcher m	Dynamit	
				No. 1	No. 2
				kg	
Einbruch . . . . .	12	3,2	38,4	11,5	23
Lochgruppe 1 . . . . .	8	3,65	29,1		25
Lochgruppe 2 . . . . .	8	3,65	29,1		25
Lochgruppe 3 . . . . .	6	3,65	22,0		39
Besondere Firstlöcher . . . . .	2	$\begin{matrix} 3,0 \\ 2,4 \end{matrix}$	5,4		

Die Zeit, die für einen Angriff erforderlich war, also zum Bohren, Besetzen und Abfeuern der Löcher und zum Fortschaffen der Berge, betrug im Mittel 32 Stunden.

Leistung. Das größte monatliche Auffahren betrug: im westlichen Richtstollen 43,9 m, im östlichen Richtstollen 35,5 bis 38,1 m. Die Durchschnittsleistung im westlichen Richtstollen 28,75 m, im östlichen Richtstollen 30,93 m. In jeder achtstündigen Schicht waren im Stollen vor Ort thätig: 12 Maschinisten, 6 Schlepper, 1 Gezähträger und 1 Laufjunge, zusammen 20 Mann.

Den Strossenabbau zeigen die Fig. 101 u. 102 auf S. 109.

**5. Richtstollen des Nesquehoning-Tunnels in Pennsylvanien.** Seine Gesamtlänge beträgt 1160 m. Auf 365 m Länge konnte ein alter, zu bergbaulichen Zwecken getriebener Stollen als Richtstollen benutzt werden, während auf 795 m Länge ein neuer Richtstollen aufgefahren werden mußte. Es geschah dies in der Zeit vom 1. März 1870 bis 15. September 1871.

Gebirgsbeschaffenheit. Das Gebirge, in das der neue Stollen getrieben wurde, bestand auf 365 m Länge aus sehr hartem Konglomerat mit einzelnen Sandsteinschichten, 305 m aus rotem Thonschiefer und 105 m aus Trümmergestein von verwittertem roten Thonschiefer. Das Streichen der Schichten war rechtwinkelig zur Tunnelachse, während sie unter 45° nach Süden hin einfielen. Durch örtliche Verhältnisse war man gezwungen, den größten Teil des Stollens rund 600 m von Süden her zu betreiben.

Querschnitt. Der Stollen hatte bei 2,44 m Höhe und 4,88 m Breite eine Querschnittsfläche von 11,9 m.

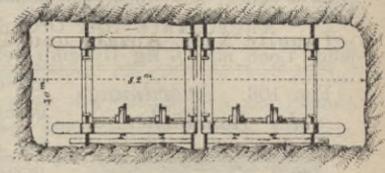
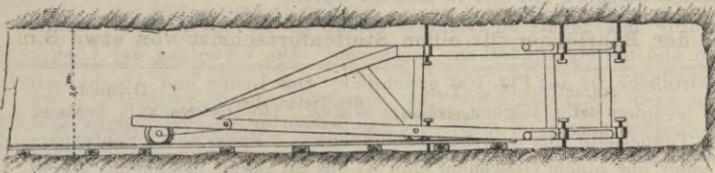
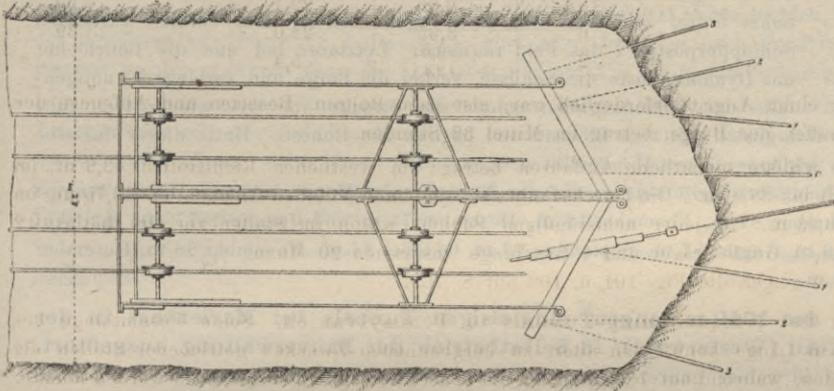
Maschinenanlage. Die Anlage bestand aus 6 sogenannten Two-Drillings-Kompressoren, die für je 2 Gesteinsbohrmaschinen Luft von 3 Atmosphären Spannung lieferten, und aus 16 Stück Burleigh'schen Bohrmaschinen, von denen gewöhnlich die Hälfte, bisweilen auch  $\frac{2}{3}$  in Betrieb waren. Vor dem Arbeitsorte waren die Bohrmaschinen auf zwei nebeneinander auf getrennten Gleisen laufenden Bohrwagen befestigt, wie Fig. 103 bis 105 zeigen, und zwar gewöhnlich 3 Stück auf jedem Wagen. Die Druckluft wurde in einer gußeisernen Röhrenleitung von 153 mm Durchmesser auf eine größte Entfernung von 1160 m vor Ort geführt, wobei sie etwa 10% Druck verlor.

Angriffsart. Der Arbeitsbetrieb ist dem der vorstehend beschriebenen beiden Stollen ähnlich, die Bohrlochstiefen sind aber wesentlich geringer. Das Ort wurde besetzt: im Konglomerat mit 35 bis 40 Löchern von 0,8 m Tiefe, im Schiefer mit 20 bis 24 Löchern von 0,9 m Tiefe. Das Bohren sämtlicher Löcher geschah in einem Angriff, das Schießen dagegen in gruppenweiser Aufeinanderfolge, vergl. Fig. 99, S. 108. Es wurde ausschließlich Schwarzpulver verwandt, das auf elektrischem Wege entzündet wurde. Auf ein Kubikmeter Ausbruchmasse im Stollen kamen im Konglomerat 4,4 m Bohrloch und 3,55 kg Pulver, im roten Thonschiefer 2,6 m bzw. 2,06 kg.

Leistung. Der Fortschritt betrug im Konglomerat 28,6 m, im Rotschiefer 39,9 m, im Mittel 34 m im Monat oder 1,23 m am Tag.

**6. Richtstollen des Rott-Tunnels bei Barmen** (Rheinische Eisenbahn, 350 m lang). Es wurde im ganzen 19 $\frac{1}{2}$  Wochen mit Maschinen gebohrt (bis einschließlich Dezember 1877) und in dieser Zeit 111,07 m Sohlenstollen aufgefahren. Der Zweck der Maschinenbohrung war hier nicht die Beschleunigung des Baues, sondern lediglich der, einen sicheren Vergleich in Bezug auf Kosten und Fortschritt der Maschinenbohrung gegenüber der Handbohrung zu gewinnen, in demselben Tunnel wurde daher in der Firste ein Stollen mit Handbohrung hergestellt.

<sup>95)</sup> Vergl.: H. S. Drinker. Tunneling, explosive compounds and rock drills. New-York 1878. S. 226.

Fig. 103 bis 105. *Erweiterter Firststollen des Nesquehoning-Tunnels.*Fig. 103. *Längenschnitt.*Fig. 105. *Querschnitt.*Fig. 104. *Grundriss.*

Gebirgsbeschaffenheit. Fester massiger Kalkstein ohne Schichtung mit einzelnen Lettenklüften durchsetzt.

Querschnitt. Der Stollen war 2,9 m breit bei 2,35 m Höhe, bot mithin 6,8 qm Querschnittsfläche.

Maschinenanlage. Nasse Druckluftpumpen von Humboldt in Kalk und Sachs'sche Bohrmaschinen. Von letzteren waren zwei Stück gleichzeitig vor Ort auf einem fahrbaren Universalgestell in Betrieb. Der mittlere Druck im Luftbehälter betrug 5 Atmosphären, vor Ort höchstens 4 Atmosphären.

Betriebsart. Es wurde in 12stündigen Schichten gearbeitet, die je mit 5 Mann belegt waren. Auf einen Meter Stollen waren durchschnittlich 30,73 Bohrlöcher von rund 0,9 m Tiefe erforderlich. Diese wurden nach den jeweiligen Gesteinsverhältnissen auf der Ortfläche verteilt, sämtlich hintereinander gebohrt und gleichzeitig abgeschossen. Das Abbohren des Ortes dauerte 13 Stunden, das Laden, Schiefen und Fördern der Berge 11½ Stunden, außerdem gingen 3 Stunden für Lüftung verloren, sodafs ein Angriff durchschnittlich 27½ Stunden in Anspruch nahm. Der Verbrauch von Dynamit belief sich für das Meter Stollen durchschnittlich auf 10 kg.

Leistung. Das mittlere monatliche Auffahren betrug 22,8 m Stollen.

Kosten. Die Kosten des Maschinenbohrens für das lfd. Meter setzen sich wie folgt zusammen: Lohn für Bohren und Abtreiben, sowie Bedienung des Bohrwagens 28,76 M. (Oberhauer 4 bis 4,5 M., Hauer 3,75 bis 4 M., Schlepper 3 M.), Sprengmaterial 25,78 M. (Dynamit 2,50 bis 2,60 M. für ein kg), Schmiede- und Werkstattkosten einschliesslich Maschinisten 11,60 M., Kohlen (0,5 M. für einen Centner) 7,92 M., Putzwolle, Öl u. s. w. 2,17 M., Laden und Schleppen 11,23 M., Ankauf von Holz 3,69 M., Arbeitslohn der Zimmerleute 0,62 M., zusammen 91,77 M. oder für das Kubikmeter Ausbruchsmasse ausschliesslich Verzinsung und Tilgung des Anlagekapitals 13,7 M.

Ein gleichzeitig in demselben Tunnel mittels Hand aufgefahrener Firststollen von 3 m Höhe und 3 m Breite kostete pro Meter 98,88 M. oder pro Kubikmeter Ausbruchsmasse 11 M.

**7. Sohlenstollen des Cochemer (Kaiser Wilhelm-) Tunnels** (4200 m lang). Beginn der Maschinenbohrung im Richtstollen: Südseite 15. Mai 1875. Nordseite 10. August 1875. Durchschlag am 4. Mai 1877.

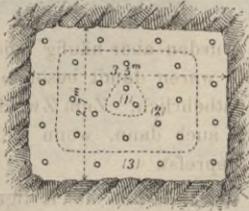
Gebirgsbeschaffenheit. Das zu durchfahrende Gebirge bestand im wesentlichen aus Thon- und Grauwackenschiefer, welch letzterer mit vielen, teils dünn geschichteten, teils starken bis zu 1 m mächtigen Grauwackenbänken abwechselt.

Querschnitt. Der Stollen hatte 9,5 qm Querschnitt von 3,5 m Breite und 2,7 m Höhe.

**Maschinenanlage.** Sie bestand aus massen, von Humboldt in Kalk gebauten Druckluftpumpen, doppeltwirkend mit 0,5 m Durchmesser und 1,5 m Hub, die durch Dampfkraft betrieben wurden. Auf der Coehemer Seite waren 20 Ferroux-Gesteinsbohrmaschinen (älterer Bauart) vorhanden, von denen stets 6 Stück, auf einem belgischen Gestell gelagert, vor Ort in Betrieb waren.

**Angriffsart.** Der Ortstofs wurde mit 26 bis 30 Löchern von je 1,1 bis 1,3 m Tiefe besetzt, jedes Loch mit  $\frac{3}{4}$  kg Dynamit geladen und mittels Zündschnur geschossen. Die Verteilung der Löcher

Fig. 106. Anordnung der Bohrlöcher.



auf der Ortfläche ist aus Fig. 106 ersichtlich. Das Laden und Abschießen geschah, nachdem alle Löcher gebohrt waren. Die Belegschaft bestand auf jeder Tunnelseite aus 4 Arbeiterabteilungen: 2 Bohr- und 2 Schlepperposten, jeder aus einem Oberhauer und 17 bis 20 Mann bestehend, die in folgender Reihenfolge arbeiteten: Nachdem der Bohrposten I die je nach der Gebirgsart nötig erscheinende Anzahl Bohrlöcher in den Ortstofs gebohrt hatte, schob er den Bohrwagen zurück, dem bereits wartenden Schlepperposten I das Feld räumend. Letzterer lud nun die Bohrlöcher mit Dynamit, löste die Schüsse, verlud die Berge und verlängerte nötigenfalls das Schienengleis. Sobald die Strecke vor Ort wieder frei, fuhr der Bohrposten II an, das Bohrgerüst mit sich führend und begann des Bohren. Hatte dieser dasselbe beendet, so wurde er vom Schlepperposten II abgelöst u. s. w.

**Leistung.** Der Monatsfortschritt betrug: auf der Nordseite im Monat Juli 1876 81 m, August 77 m, September 90 m, Oktober 87 m, November 93 m, Dezember 75 m und Januar 1877 105 m. Auf der Südseite im Juli 1876 89 m, August 87 m, September 93 m, Oktober 86 m, November 88 m, Dezember 50 m und Januar 1877 82 m.

### 8. Sohlenstollen des 1040 m langen, eingleisigen Tunnels bei Marienthal in der Bahnlinie Altenkirchen-Au (Westerwald), in Selbstbetrieb der Bauverwaltung ausgeführt.

Der genannte Tunnel liegt in seiner ganzen Länge in einer gleichmäßigen Steigung von 1:65. Die Verwendung von Bohrmaschinen bei der Auffahrung des Sohlenstollens ermöglichte es, den Bauangriff für den ganzen Tunnel auf eine Seite desselben zu beschränken, wodurch kostspielige Wasserhaltungsarbeiten, erschwerte Förderung der gelösten Berge, Einrichtung eines zweiten Bauplatzes u. dergl. mehr, die bei zweiseitiger Inangriffnahme des Tunnels auf der oberen Seite desselben nicht zu umgehen gewesen sein würden, erspart blieben. Da der 1040 m lange Tunnel in zwei Jahren fertiggestellt werden sollte, so war für den Sohlenstollen zur Erreichung dieses Zieles ein Fortschritt von durchschnittlich 60 m im Monat oder 2,5 m am Arbeitstag erforderlich. Eine solche Leistung ist bei dem heutigen Stande der Bohrtechnik mit Hilfe von Bohrmaschinen nicht erheblich zu nennen und kann in einfacher Weise ohne kostspielige Aufbietung aller Kräfte mit verhältnismäßig geringen Kosten erreicht werden. Thatsächlich ist in dieser Weise der Sohlenstollen auch rechtzeitig hergestellt, wobei alles vermieden wurde, was etwa über den erforderlichen Arbeitsfortschritt hinaus zur Erzielung einer unnötig größeren, aber die Arbeit verteuernenden Leistung hätte geschehen können.

Die Maschinenbohrung begann am 10. August 1885, nachdem bereits 65 m Stollen mittels Handbohrung, wobei ein täglicher Fortschritt von durchschnittlich 1 m pro Arbeitstag erzielt wurde, aufgefahren waren. Der Durchschlag mit dem vom oberen Tunnelende her in einer Länge von 70 m in trockener Jahreszeit hergestellten Firststollen erfolgte am 18. September 1886.

**Gebirgsbeschaffenheit.** Das zu durchfahrende Gebirge bestand ganz aus Grauwackenschiefer (Koblenzschichten), dessen Härte häufig wechselte und von zähem kleinklüftigen, daher schwer schiefsbaren Gestein übergang in weiche, mit Lettenschichten durchsetzte Massen. Das Streichen der Schichten bildete zur Tunnelachse einen Winkel von  $10^\circ$  (abgerundet), ihr Einfallen betrug meist  $60^\circ$ .

**Querschnitt.** Der Sohlenstollen mußte zum großen Teile mit Zimmerung versehen werden. Seine lichte Weite zwischen den Thürstöcken betrug oben 2,25 m, unten 2,45 m; die lichte Höhe von der Sohle bis zur Kappe 2,25 m, vergl. Fig. 1, Taf. IV. Der auszuschießende Querschnitt des Stollens hatte eine mittlere Breite von 3,0 m und eine mittlere Höhe von 2,5 m, mithin eine Fläche von 7,5 qm. Da der gesamte Tunnelausbruch eine Fläche von 35,8 qm ausmacht, so steht die Größe des Stollens zu dem ganzen Tunnel im Verhältnis von 1:4,77.

**Maschinenanlage.** Die in Fig. 7 u 8, Taf. XI dargestellte Maschinenanlage bestand aus 2 Sturgeon'schen Trocken-Kompressoren mit Verbund-Dampfmaschinen und aus dem Kessel einer außer Dienst gestellten Lokomotive mit 5 Atmosphären Dampfdruck. Der Cylinderdurchmesser der Druckluftpumpen betrug 42 cm, die Hublänge 40 cm, die Hubzahl 120 in der Minute. Die auf 4 Atmosphären geprefte Luft wurde von den Druckluftpumpen, die jede nur mit einem kleinen Luftsammler

versehen war, unmittelbar durch die Luftleitung zu den Bohrmaschinen im Stollen geführt. Die Leitung bestand aus 8 cm weiten gezogenen Röhren mit abgedrehten losen Flanschen.

Mit einer der Druckluftpumpen war eine Kraftübertragung verbunden, die mehrere Arbeitsmaschinen: eine Wandbohrmaschine, einen Schleifstein, eine Mörtelmaschine und eine Kreissäge trieb (Fig. 8, Taf. XI).

An Gesteinsbohrmaschinen waren 12 Stück vorhanden (System Frölich), von denen aber meist nur zwei vor Ort in Betrieb waren, während eine dritte im Stollen in Bereitschaft gehalten wurde. Es würden für den Marienthaler Tunnel 6, höchstens 8 Bohrmaschinen genügt haben: die gröfsere Beschaffung hat ihren Grund in dem Umstande, dafs diese Bohrmaschinen, sowie auch die Luftpumpen am Brandleite-Tunnel vorhanden waren und von dort zu einem billigen Preise übernommen werden konnten. Ferner gehörten zu der vorhandenen Bohranlage vier hydraulische Bohrsäulen.

Für den Betrieb der Bohrmaschinen genügte eine Druckluftpumpe; es wurden aber häufig beide in Thätigkeit gesetzt, um genügend frische Luft in den Tunnel einzuführen. Es waren damit besondere Ventilatoren, welche wieder eine besondere Luftleitung erfordert haben würden, entbehrlich. Zum Zwecke der Belüftung arbeiteten die Luftpumpen, eine oder beide je nach Bedürfnis auch dann, wenn nicht gebohrt wurde; es wurde dann die Luft aber nur auf 1½ bis 2 Atmosphären geprefst.

Zur besseren Belüftung, namentlich zur rascheren Abführung des durch das Befahren der fertigen Tunnelstrecke mit gewöhnlichen Maschinen in den Tunnel eingeführten Dampfes und Rauches war am Gewölbe eine 25 cm weite Blechrohrleitung von 150 m Länge bis zu Tage aufgehängt, in welche ein Körtling'scher Ejektor einmündete, der mit der Prefsluftleitung in Verbindung stand und durch die Prefsluft nach Bedarf in Betrieb gesetzt werden konnte.

Die Kosten der vorbeschriebenen Bohranlage setzen sich bei Neubeschaffung folgendermafsen zusammen:

2 Luftpumpen mit allem Zubehör je 5000 M. . . . .	10 000 M.
1 Dampfkessel, für eine Dampfmaschine von 30 bis 40 Pferdekraften ausreichend	4 000 "
1160 m gezogene schmiedeiserne Röhren, in genau abgepaßten Längen von 5 m, mit abgedrehten losen Flanschen einschliesslich Schrauben und Dichtungsringe je 4,5 M. . . . .	5 220 "
1 Luftverteiler mit 5 Abzweigungen (für die Luftleitung zum Anschrauben der zu den einzelnen Bohrmaschinen führenden Spiralschläuche) . . . . .	50 "
6 Gummispiralschläuche, mit Hanfseil umwickelt, je 12 m lang, 1 lfd. Meter 10,5 M.	756 "
7 Bohrmaschinen (System Frölich) mit allem Zubehör je 700 M. . . . .	4 900 "
1 vollständiger Satz Bohrer und zwar	
21 Stück Z-Bohrer je 0,6 m lang u. 26 mm stark,	
33 " " " 0,8 m " " " "	
38 " " " 1,1 m " " " "	
43 " " " 1,3 m " " " "	
43 " " " 1,5 m " " " "	
15 " Meißelbohrer je 1,7 m lang u. 24 mm stark,	
15 " " " 2,0 m " " " "	
zusammen 208 Bohrer aus bestem Bohrstahl, im ganzen 1180 kg schwer für 100 kg 60,0 M. . . . .	= 708,0 M.
Dazu an Arbeitslohn: 208 Bohrzapfen anzuschmieden je 0,7 M. = 145,6 "	
178 Z-Bohrerschneiden schmieden und schärfen je 0,3 M. . . . .	= 53,4 "
30 Meißelbohrer desgl. je 0,1 M. . . . .	= 3,0 "
im ganzen rund . . . . .	900 "
4 Druckwasser-Bohrsäulen für 2,4 m Stollenhöhe je 400 M. . . . .	1 600 "
1 Maschinenhaus mit Werkstätte und Magazin, 300 qm Grundfläche in Fachwerk	6 000 "
1 Brunnen mit Pulsometer nebst Wasserbottich und die zugehörigen Rohrleitungen	800 "
Dazu an Ausrüstung der Werkstätte und zwar: Kraftübertragung (1000 M.), zwei Schmiedefeuer (500 M.), 4 Schraubstücke (60 M.), 1 Wandbohrmaschine (500 M.), 1 Schleifstein (50 M.), Hämmer, Feilen u. s. w., zusammen rund	3 000 "
Dazu ferner für Grundmauerwerk für die Luftpumpen und den Kessel, für Montage, für Legen der Rohrleitung u. s. w. . . . .	2 000 "
Zusammen abgerundet . . . . .	40 000 M.

Tabelle XIII.

Durchschnitts-Kosten und -Leistungen in der Zeit vom 11. Januar 1886 bis 1. Mai 1886  
für ein Meter Stollen bei einem mittleren Querschnitt von 7,5 qm.

No.		Mark	Pf.
<b>I. Stücklohn, Lohn und Gehalt.</b>			
a) Erzeugung der Druckluft.			
1	Wartung des Dampfkessels und der Luftpumpen . . . . .	2	25
b) Bohr-, Spreng- und Schlepparbeit.			
2	Oberhauer . . . . .	3	38
3	Maschinenbohrer . . . . .	11	78
4	Hauer zum Vorstrecken der Stollengleise und zum Nachschießen stehen gebliebener Felsmassen . . . . .	5	19
5	Schlepper zum Fortschaffen der Berge vor Ort . . . . .	18	07
6	Für Auftauen des gefrorenen Dynamits für $\frac{1}{3}$ der Bauzeit im Verhältnis 1:4,77 auf den Sohlenstollen verteilt . . . . .	—	20
7	Transport der Rollwagen mittels Pferd ( $\frac{1}{4,77}$ der Gesamtkosten) . . . . .	—	53
8	Nachführen der Wasserrösche ( $\frac{1}{4,77}$ der Gesamtkosten) . . . . .	—	31
9	Schärfen der Z-Bohrer 13,75 Stück zu 0,10 M. . . . .	1	38
10	Schärfen der Keilhauen 1,23 Stück zu 0,03 M. . . . .	—	04
c) Verzimmerung des Stollens.			
11	Instandhaltung der eisernen Klammern 0,78 Stück zu 0,02 M. . . . .	—	02
12	Nachträgliches Verzimmern des Sohlenstollens beim Vortreiben des Firststollens . . . . .	—	43
13	Einsetzen von Stielen in die Handwerkzeuge, Schärfen der Sägen, Schleifen der Tunneläxte und Anfertigung von Pfandkeilen ( $\frac{1}{4,77}$ der Gesamtkosten) . . . . .	—	21
d) Instandhaltungskosten.			
14	Instandhaltung der Bohrgerätschaften, der Luftpumpen, des Pulsometers und der Arbeitsmaschinen . . . . .	2	52
15	Schmiedearbeit zur Instandhaltung der zur Stollenförderung benutzten Rollwagen, im Verhältnis der geförderten Masse verteilt . . . . .	—	70
16	Stellmacherarbeit desgl. . . . .	2	63
17	Instandhaltung der kleinen Fördergleise und Förderwagen im Sohlenstollen . . . . .	—	13
e) Verschiedenes.			
18	Besoldung der Aufsichtsbeamten ( $\frac{1}{4,77}$ der Gesamtkosten) . . . . .	1	35
19	Verwaltung des Lagers ( $\frac{1}{4,77}$ der Gesamtkosten) . . . . .	—	22
20	Schmieren der Rollwagen und Instandhaltung, sowie Anzünden der Lampen im Maschinenhaus ( $\frac{1}{4,77}$ ) . . . . .	—	15
<b>II. Material.</b>			
a) Erzeugung der Druckluft.			
21	Kesselkohlen 14,41 Ctr. zu 0,51 M. . . . .	7	35
22	Schmieröl für die Luftpumpen 1,87 kg zu 0,52 M. . . . .	—	97
23	Putzwolle desgl. 0,19 kg zu 100 kg 45 M. . . . .	—	09
24	Talg desgl. 0,06 kg zu 0,80 M. . . . .	—	05
25	Hanf „ 0,02 „ „ 1,65 „ . . . . .	—	03
26	Patentverpackung desgl. 0,05 kg zu 1,40 M . . . . .	—	07
b) Bohr-, Spreng- und Schlepparbeit.			
27	Schmieröl für die Bohrmaschinen 1,34 kg zu 0,52 M. . . . .	—	70
28	Brennöl für die Tunnellampen 0,06 kg zu 0,60 M. . . . .	—	04
	zu übertragen . . . . .	59	79

No.		Mark	Pf.
	Übertrag . . . . .	59	79
29	Gelatinedynamit 12,94 kg zu 1,96 M. . . . .	25	36
30	Guttapercha-Züandschnur 5,76 m zu 0,035 M. . . . .	—	20
31	Weifse Züandschnur 11,52 m zu 0,015 M. . . . .	—	17
32	Züandkapseln 12,87 Stück zu 100 Stück 1,05 M. . . . .	—	14
33	Elektr. Züander einschl. Leitungsdrähte für die Gesamtlänge des Tunnels berechnet	—	75
34	Patronenpapier 0,01 kg zu 0,70 M. . . . .	—	01
35	Keilhauen 0,12 Stück = 0,36 kg zu 0,70 M. . . . .	—	25
36	Keilhauen- und Bohrfäustelstiele 0,04 Stück zu 0,40 M. . . . .	—	02
37	Fülltröge 0,24 Stück zu 1,96 M. . . . .	—	47
38	Verbrauch an Bohrfußstahl 1,05 kg zu 100 kg 58,8 M. . . . .	—	62
39	Ersatzstücke der Luftpumpen, des Kessels und der Bohrmaschinen, sowie Schlosserhandwerkzeuge . . . . .	3	12
c) Verzimderung des Stollens.			
40	Kiefern-Rundholz 0,039 cbm zu 18 M. . . . .	—	70
41	Schwarten für Pfähle 3,28 lfd. Meter zu 0,23 M. . . . .	—	75
42	Pfandkeile aus Buchenbohlen 2,45 Stück = 0,003 cbm zu 34 M. . . . .	—	10
43	Eiserne Klammern 1,4 Stück zu 0,22 M. . . . .	—	31
44	Drahtstifte zur Befestigung der Abdeckung der Wasserröfche 27 Stück, zu 1000 Stück 6,42 M. . . . .	—	17
d) Instandhaltungskosten nach Maßgabe der geförderten Stollenmassen.			
45	Eichen-Kantholz für Wagenausbesserung 0,006 cbm zu 84 M. . . . .	—	50
46	Buchenbohlen desgl. 0,004 cbm zu 34 M. . . . .	—	14
47	Schmiedeeisen desgl. 0,58 kg zu 100 kg 13 M. . . . .	—	08
48	Schmieröl für die Rollwagen 0,23 kg zu 0,52 M. . . . .	—	12
49	Splinte desgl. 1,23 Stück, 100 Stück 0,81 M. . . . .	—	01
	Gesamtkosten für 1 m Stollen . . . . .	93	78

III. Leistungen.

Anzahl der Bohrlöcher . . . . .	10,53 Stück.
Mittlere Weite derselben . . . . .	45 mm.
Mittlere Bohrlochtiefe . . . . .	1,37 m.
Bohrleistung für eine Maschine in der Minute bei 3 Atm. nutzbl. Luftdruck	35 mm.
Anzahl der Bohrmaschinen vor Ort (hiervon eine in Reserve) . . . . .	3 Stück.
Zeit für Herstellung sämtlicher Bohrlöcher . . . . .	3 Std. 25 Min.
Zeit für das Wegräumen des Schuttes . . . . .	4 „ 4 „
Anzahl der ausgewechselten Bohrer . . . . .	13,74 Stück.

Angriffsart. Vor Ort waren in der Regel zwei Bohrmaschinen in Thätigkeit, die je an einer Druckwasser-Bohrsäule befestigt waren. Das Stollenort wurde je nach der Härte des Gesteins mit 8 bis 14 Löchern besetzt, entweder nach Anordnung der Fig. 107 oder in hartem Gestein nach Fig. 108. Die durchschnittliche Tiefe der Löcher betrug 1,37 m und ihre mittlere Weite 45 mm. Das Laden der Löcher erfolgte erst nach Fertigstellung sämtlicher Löcher. Als Sprengmaterial wurde in letzter Zeit ausschließlich Gelatinedynamit verwendet und es wurden für das lfd. Meter Stollen in der Regel 12 bis 15 kg verbraucht. Das Züanden der Ladungen geschah mit Hilfe von etwa 1,5 m langen Züandschnüren derart, daß immer erst die Einbruchslöcher 1, sodann die Löcher 2 und endlich die Löcher

Fig. 107.

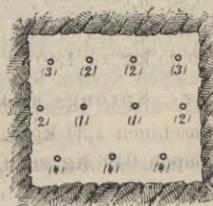
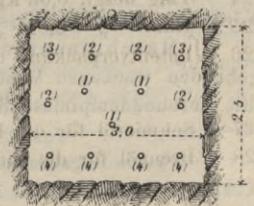


Fig. 108.



3 zur Explosion kamen. Die Löcher 4, die sogenannten Hebschüsse, wurden erst geladen und abgeschossen, nachdem die durch die übrigen Schüsse gelösten Berge verladen waren.

Das Abbohren sämtlicher Löcher dauerte im Mittel 3 Stunden 25 Min., das Schleppen 4 Stunden 4 Min., sodafs binnen 24 Stunden in der Regel 3 Bohr- und ebenso viel Schleppschichten geleistet wurden. Für das Bohren, Laden und Abschiefsen der Löcher und für das Vorstrecken der Gleise vor Ort waren in zwei 12stündigen Schichten 2 Oberhäuer und 12 Häuer erforderlich. Das Verladen der gelösten Berge erfolgte durch je 7 Schlepper für Tag- und Nachtschicht.

Zur Aufnahme und zum Fortschaffen der Berge dienten Rollwagen von 1,7 cbm Inhalt, deren meist 8 bis 10 erforderlich waren. Um diese zu beladen, wurden die Berge zunächst in Fülltröge (Fig. 19, Taf. I) eingekratzt und diese mittels kleiner Plattwagen, die sich auf zwei nebeneinander und neben dem Hauptgleise liegenden Gleisen von 30 cm Spurweite bewegten, nach dem letzten Wagen gefahren und in diesen entleert, während gleichzeitig vor Ort andere Fülltröge mit Bergen gefüllt und auf den zweiten Rollwagen im zweiten Gleise aufgesetzt wurden, um in gleicher Weise in den Rollwagen ausgestürzt zu werden. Das Beladen der großen Wagen erfolgte demnach ohne Pausen und zwar vom hintersten nach dem dem Ort zunächst stehenden Wagen, vergl. § 42. Die Zeit, innerhalb welcher ein Wagen beladen wurde, betrug 20 bis 25 Minuten, sodafs 10 solcher Wagen oder 17 cbm in 3 Stunden 20 Min. bis 4 Stunden 10 Minuten geladen wurden.

Leistung. Der Arbeitsfortschritt im Sohlenstollen betrug:

Von 3. bis 30. Juni 1885	= 30 m	Hand- bohrung.	Im Monat Januar	1886	= 74 m	} Maschinenbohrung.
Im Monat Juli	" = 27,5 "		" "	Februar	" = 55,5 "	
Vom 1. bis 10. August	" = 8 "		" "	März	" = 77 "	
Vom 10. bis 31. August 1885	= 60 m	Maschinen- bohrung.	" "	April	" = 67 "	
Im Monat September	" = 38 "		" "	Mai	" = 61 "	
" " Oktober	" = 60 "		" "	Juni	" = 76 "	
" " November	" = 67 "		" "	Juli	" = 85 "	
" " Dezember	" = 78 "		" "	August	" = 78,5 "	
			Vom 1. bis 17. Sept.	" = 38 "		

Die geringere Leistung in einzelnen Monaten wurde durch mildes, mit Letten durchsetztes Gebirge verursacht, das stellenweise bis zum Juni 1886 fast in jedem Monate mehr oder weniger auftrat und jedesmal während mehrerer Tage die Maschinenbohrung entweder ganz unmöglich machte oder wesentlich beschränkte. In festem Gebirge betrug der Stollenfortschritt für den Arbeitstag meist 3,5 m, höchstens 4,6 m, in weicherem Gestein wurden dagegen selten mehr als 2,5 m aufgeföhren. Der Gesamt-Durchschnitt des Stollenfortschritts belief sich bei der Maschinenbohrung, ausschliesslich der Tage, an welchen nicht gebohrt werden konnte, auf 3,0 m für den Tag.

Die Anführung einer Anzahl neuerer Beispiele aus verschiedenen Gegenden und Verhältnissen erscheint zweckmäfsig, um aus ihnen für einen gegebenen Fall einen Anhalt für eine geeignete Anordnung einer Bohranlage, sowie für die damit zu erzielende Leistung und die aufzuwendenden Kosten gewinnen zu können.<sup>36)</sup>

**9. Querschläge und Förderstrecken auf dem Freieslebenschacht, Ottoschacht und 81. Lichtloch der Mansfeld'schen Kupferschiefer bauenden Gewerkschaften.** Von 1883 bis 1889 wurden in den genannten Gruben umfangreiche maschinelle Bohrarbeiten mit beschleunigtem Betrieb ausgeführt. Für eine Gesamtlänge von 5923 m Querschläge und Förderstrecken liegen genaue Angaben vor.

**Gebirgsbeschaffenheit.** Festes Rotliegendes (feinkörniger Sandstein) abwechselnd mit sehr harten Konglomeratschichten, die zahlreiche Quarzstücke enthalten. In den Förderstrecken ferner Gyps, Anhydrit, Steinsalz, Zechstein, Weifsliegendes und Kupferschieferflötz.

**Querschnitt.** Breite 2 bis 2,50 m, Höhe 2 bis 2,30 m, je nachdem der Querschlag für Förderung oder für Wasserhaltung bestimmt war.

**Maschinenanlage.** Auf allen drei Gruben bestand die Druckluftanlage aus je zwei schnellgehenden trockenen Ventilpumpen System Sturgeon, von je 6 cbm angesaugter Luft in der Minute mit Verbunddampfmaschinen, mit einem Druckluftbehälter von 4 cbm Inhalt. Während des Bohrens

<sup>36)</sup> Die Angaben über nachstehende Ausführungen verdanken wir dem Inhaber der Firma Fröhlich und Klüpfel, Herrn Klüpfel in Barmen. Diese Firma hat die betreffenden Anlagen und Bohrarbeiten selbst ausgeführt und zwar in allen Fällen unter Anwendung der von ihr gebauten Fröhlich'schen Bohrmaschine.

wurde die Luft auf 5 Atmosphären Überdruck geprefst. Zur Dampferzeugung dienen je zwei Wolf'sche Röhrenkessel von je 50 qm Heizfläche, die abwechslungsweise im Betrieb sind. Vor Ort waren je 4 Frölich'sche Bohrmaschinen im Betrieb, von denen je 2 an einer hydraulischen Bohrsäule befestigt waren.

**Angriffsart.** Das Ort wurde je nach der Härte des Gesteins mit 16 bis 24 Löchern von durchschnittlich 1,15 m Tiefe und 30 bis 55 mm Weite in einem Angriff abgebohrt. Sprengmittel: Sprenggelatine und Gelatinedynamit. Zunächst wurden 4 in der unteren Hälfte des Querschnitts angesetzte Bohrlöcher, die nach hinten nahezu zusammenliefen, stark geladen und abgeschossen, wodurch ein kegelförmiger Einbruch herausgeschossen wurde; darauf wurden sämtliche übrigen Löcher geladen und gleichzeitig angezündet. Oft wurden aber auch alle Bohrlöcher gleichzeitig geladen und auf einmal angesteckt. Die Längen der Zündschnüre waren jedoch so angeordnet, daß die 4 Einbruchlöcher zuerst, dann die über und seitlich vom Einbruch stehenden und zuletzt die Bohrlöcher in der Sohle und in den oberen Ecken des Querschnitts zur Entladung kamen. Zeitdauer einer Bohrung durchschnittlich 3 Stunden 15 Minuten, Zeitdauer der Schiefsarbeit und des Wegfüllens der Berge 2 Stunden 30 Minuten, sodafs ein Angriff in 5 Stunden 28 Minuten ausgeführt wurde. Durchschnittlicher Fortschritt bei jedem Angriff 0,89 m; hierbei 16,3 kg Dynamit verbraucht. Die Belegschaft bestand für jeden Ortbetrieb aus 1 Aufseher, 1 Feuerwerker, 8 Bohrern mit 12stündigen Schichten und 10 Schleppern mit 8stündigen Schichten, sodafs im ganzen am Tag 50 Mann für einen Ortbetrieb beschäftigt waren.

**Leistung.** Durchschnittsfortschritt im Arbeitstag (24 Stunden) 3,90 m, hierbei 18,3 kg Dynamit auf das Meter verbraucht. In einzelnen Monaten stieg der durchschnittliche Arbeitsfortschritt auf 6,20 m im Arbeitstag. Die höchste Monatsleistung wurde im Januar 1888 erreicht und betrug 148 m in 24 Arbeitstagen. Bei der Handarbeit betrug der monatliche Fortschritt je nach der Härte des Gebirges 12 bis 28 m.

**Kosten.** Der Gedingepreis ohne Gestellung der Rohrleitung und der Bohrmaschinen, aber einschliesslich Sprengmaterial und Gezähe, sowie einschliesslich der Förderung der Berge bis zum Schacht betrug je nach der Härte des Gebirges 90 bis 130 M. für das Meter Querschlag oder Strecke. Bei der Handbohrung schwanken die Preise zwischen 60 und 150 M. für das Meter. Gesamtkosten der ganzen Maschinenanlage, Dampfkessel, Luftpumpen, Luftbehälter, Druckluftleitung, Bohrmaschinen und Bohrsäulen etwa 50000 M. für jede Grube.

**10. Querschläge auf der Steinkohlengrube „Mansfeld“ bei Langendreer in Westfalen.** Vom 1. Oktober 1890 bis 3. September 1891 wurden 1032 m Querschlag mit Bohrmaschinen aufgefahren.

**Gebirgsbeschaffenheit.** Steinkohlengebirge, je ein Drittel aus festem Sandstein, Sandschiefer und Schiefer bestehend, auf etwa 200 m Länge sehr gestörtes Gebirge, in dem stets Holzeinbau bis dicht vor Ort erforderlich war.

**Querschnitt.** In festem Gebirge 2,5 m breit und 2,2 m hoch, in brüchigem Gebirge 3 m breit und 2,5 m hoch.

**Maschinenanlage.** Druckluftpumpe System Burekhardt & Weifs von 12 cbm angesaugter Luft in der Minute. Luftbehälter von 10 cbm Inhalt. Luftspannung bis 5 Atmosphären Überdruck. Dampferzeugung in gröfserer Kesselanlage für den gesamten Grubenbetrieb. Vor Ort 4 Frölich'sche Bohrmaschinen in Thätigkeit, je 2 an einer hydraulischen Bohrsäule befestigt.

**Angriffsart.** Durchschnittlich 12 Bohrlöcher von 1,3 m Tiefe und 30 bis 60 mm Durchmesser. Kegelförmiger Einbruch mit 4 Bohrlöchern. Durchschnittliche Zeitdauer einer Bohrung 3 Stunden 30 Minuten. Durchschnittliche Zeitdauer der Schiefsarbeit und des Wegfüllens der Berge 3 Stunden 48 Minuten. Ein Angriff wurde also in 7 Stunden 18 Minuten ausgeführt. Hierbei durchschnittlicher Fortschritt 1,31 m und 14,92 kg Dynamit verbraucht. Die Belegschaft bestand aus 8 Bohrern und 8 Schleppern mit 8stündigen Schichten, sodafs also im Tag im ganzen 48 Mann für einen Ortbetrieb beschäftigt waren.

**Leistung.** Durchschnittlicher Fortschritt im Arbeitstag (24 Stunden) 3,88 m, hierbei 11,39 kg Dynamit auf das Meter Querschlag verbraucht.

**Kosten.** Der Gedingepreis ohne Gestellung der Luftpumpe, der Druckluftleitung und der Bohrmaschinen, aber einschliesslich Sprengmaterial und Gezähe, sowie einschliesslich der Förderung der Berge bis zum Schacht betrug 90 M. für das Meter Querschlag. Gesamtkosten der Maschinenanlage, Luftpumpe, Luftbehälter, Druckluftleitung, Bohrmaschinen und Bohrsäulen, ohne Dampfkessel, etwa 35000 M.

**11. Querschlag auf der Steinkohlengrube „Reden“ bei Saarbrücken.** 1894 wurde ein Querschlag mit Bohrmaschinen aufgefahren. Für eine Länge von 406 m liegen genaue Angaben vor.

**Gebirgsbeschaffenheit.** Steinkohlengebirge bestehend aus Schiefer, Sandstein, Thonstein und Konglomerat.

Querschnitt. Breite 3,10 m und Höhe 2,70 m.

Maschinenanlage. Die erforderliche Druckluft von 4 bis 5 Atmosphären Überdruck durch eine größere Ventilluftpumpe von Schüchtermann & Kremer in Dortmund erzeugt, die zugleich die Druckluft zum Betrieb von Lufthaspeln und Ventilatoren lieferte. Vor Ort 4 Frölich'sche Bohrmaschinen in Thätigkeit, je 2 an einer hydraulischen Bohrsäule befestigt.

Angriffsart. Durchschnittlich 19 Bohrlöcher von 1,70 m Tiefe und 30 bis 60 mm Weite. Kegelförmiger Einbruch mit 4 Bohrlöchern. Durchschnittliche Zeitdauer einer Bohrung 4 Stunden 10 Minuten. Durchschnittliche Zeitdauer der Schiefsarbeit und des Wegfüllens der Berge 5 Stunden 58 Minuten. Ein Angriff also in 10 Stunden 8 Minuten ausgeführt; hierbei durchschnittlicher Fortschritt 1,44 m und 20,07 kg Dynamit verbraucht. Die Belegschaft bestand aus 6 Bohrern und 9 Schlepfern mit 8 stündigen Schichten, sodafs also im Tag im ganzen 45 Mann für einen Ortbetrieb beschäftigt waren.

Leistung. Durchschnittlicher Fortschritt im Arbeitstag (24 Stunden) 3,53 m; hierbei 11,33 kg Dynamit auf das Meter Querschlag verbraucht.

Kosten. Der Gedingepreis einschliesslich Gestellung der Bohrmaschinen, Sprengmaterial, Gezähe und Förderung der Berge bis zu einem Bremsberg betrug 117 M. für das Meter Querschlag. Kosten der Maschinenanlage lassen sich nicht getrennt angeben, weil die Luftpumpe nur teilweise für diesen Betrieb arbeitete.

**12. Querschlag auf der Steinkohlengrube „Deutschland“ bei Hafslinghausen in Westfalen.** 1894 ein Querschlag mit Bohrmaschinen aufgefahren. Für eine Länge von 484 m liegen genaue Angaben vor.

Gebirgsbeschaffenheit. Steinkohlengebirge bestehend aus Sandstein, Sandschiefer und Schiefer. Querschnitt. Breite 2,4 m und Höhe 2,2 m.

Maschinenanlage. Erforderliche Druckluft von 4 bis 5 Atmosphären Überdruck durch eine Schieberluftpumpe System Burckhardt & Weifs von 12 cbm angesaugter Luft in der Minute erzeugt, die zugleich Druckluft zum Betrieb von Lufthaspeln und Ventilatoren lieferte. Vor Ort 2 Frölich'sche Bohrmaschinen in Thätigkeit, je 2 an einer hydraulischen Bohrsäule befestigt.

Angriffsart. Durchschnittlich 17 Bohrlöcher von 1,54 m Tiefe und 30 bis 60 mm Weite. Kegelförmiger Einbruch mit 4 Bohrlöchern. Durchschnittliche Zeitdauer einer Bohrung 6 Stunden 30 Minuten. Durchschnittliche Zeitdauer der Schiefsarbeit und des Wegfüllens der Berge 7 Stunden. Ein Angriff wurde also in 13 Stunden 30 Minuten ausgeführt. Hierbei durchschnittlicher Fortschritt 1,42 m und 19,1 kg Dynamit verbraucht. Die Belegschaft bestand aus 4 Bohrern und 2 Schlepfern mit 8stündigen Schichten, sodafs also im Tag im ganzen 18 Mann für einen Ortbetrieb beschäftigt waren.

Leistung. Durchschnittlicher Fortschritt im Arbeitstag (24 Stunden) 2,44 m; hierbei 13,5 kg Dynamit für das Meter Querschlag verbraucht.

Kosten. Der Gedingepreis einschliesslich Gestellung der Bohrmaschinen, Sprengmaterial, Gezähe und Förderung der Berge bis zum Schacht betrug 68 M. für das Meter Querschlag. Kosten der Maschinenanlage können nicht getrennt angegeben werden, weil die Luftpumpe nur teilweise für diesen Betrieb arbeitete.

**13. Querschläge auf der Steinkohlengrube „Massen“ bei Unna in Westfalen.** 1897 und 1898 verschiedene Querschläge mit Bohrmaschinen aufgefahren. Für eine Länge von 2783 m liegen genaue Angaben vor.

Gebirgsbeschaffenheit. Steinkohlengebirge bestehend aus Schiefer, Sandschiefer und Sandstein. Querschnitt. Breite 2,50 m und Höhe 2,20 m.

Maschinenanlage. Erforderliche Druckluft von 4 bis 5 Atmosphären Überdruck durch eine grosse Ventilluftpumpe von Schüchtermann & Kremer in Dortmund geliefert, die zugleich die ausgedehnte Grubenanlage mit Druckluft zum Betrieb von Förderhaspeln und Ventilatoren versorgte. Vor jedem Ort 2 Frölich'sche Bohrmaschinen im Betrieb, je eine an einer hydraulischen Bohrsäule befestigt.

Angriffsart. Durchschnittlich 13 Bohrlöcher von 1,62 m Tiefe und 30 bis 60 mm Weite. Meistens kegelförmiger Einbruch mit 4 Bohrlöchern. Durchschnittliche Zeitdauer einer Bohrung 4 Stunden 44 Min. Durchschnittliche Zeitdauer der Schiefsarbeit und des Wegfüllens der Berge 5 Std. 58 Min. Ein Angriff wurde also in 10 Std. 42 Min. ausgeführt. Hierbei durchschnittlicher Fortschritt 1,56 m und 12,13 kg Dynamit verbraucht. Die Belegschaft bestand aus 2 Bohrern und 4 Schlepfern mit achtstündigen Schichten, sodafs also im Tag im ganzen 18 Mann für einen Ortbetrieb beschäftigt waren.

**Leistung.** Durchschnittlicher Fortschritt im Arbeitstag (24 Stunden) 2,91 m und 7,77 kg Dynamit für das Meter Querschlag verbraucht.

**Kosten.** Der Gedingepreis einschließlich Gestellung der Bohrmaschinen, Sprengmaterial, Gezähe und Förderung der Berge bis zum Schacht betrug 60 M. für das Meter Querschlag. Der Grund des geringeren Preises gegenüber den früheren Beispielen liegt hauptsächlich in den günstigeren Gebirgsverhältnissen, die in den vorstehend angegebenen Zahlen über Fortschrittleistung und Dynamitverbrauch deutlich zum Ausdruck kommen. Kosten der Maschinenanlage können nicht getrennt angegeben werden, weil die Luftpumpe nur teilweise für diesen Betrieb arbeitete.

**14. Stollen auf den Eisensteingruben der Hernadthaler Ungarischen Eisenindustrie-Aktiengesellschaft bei Krompach in Ungarn.** 1896 und 1897 zwei Stollen in der Gesamtlänge von 1762 m mit Bohrmaschinen aufgefahren.

**Gebirgsbeschaffenheit.** Feldspat, zum Teil sehr hart und zum Teil mehr verwittert, und Thonschiefer.

**Querschnitt.** Unterer Stollen 2,4 m breit und 2,1 m hoch, oberer Stollen 2 m breit und 2 m hoch.

**Maschinenanlage.** Zwei Riemenluftpumpen System Burckhardt & Weifs, von je 6 cbm angesaugter Luft in der Minute. Neben jeder Luftpumpe ein Luftbehälter von 5 cbm Inhalt. Die Luft wurde auf 4 bis 5 Atmosphären Überdruck geprefst. Vor Ort in der Regel 2 Frölich'sche Bohrmaschinen in Thätigkeit, je eine an einer hydraulischen Bohrsäule, während bei besonders festem Gebirge vorübergehend auch 3 Bohrmaschinen gleichzeitig in Betrieb genommen wurden.

**Angriffsart.** Durchschnittlich 15 Löcher von 1,54 m Tiefe und 30 bis 60 mm Weite. Kegelförmiger Einbruch mit 4 Bohrlöchern. Durchschnittliche Zeitdauer einer Bohrung 5 Stunden 45 Minuten. Durchschnittliche Zeitdauer der Schiefsarbeit und des Wegfüllens der Berge 6 Stunden 5 Minuten. Ein Angriff wurde also in 11 Stunden 50 Minuten ausgeführt. Hierbei durchschnittlicher Fortschritt 1,28 m und 13,39 kg Dynamit verbraucht. Die Belegschaft bestand aus 4 Bohrern und 3 Schleppern mit 8 stündigen Schichten, sodafs also im Tag im ganzen 21 Mann für einen Ortbetrieb beschäftigt waren.

**Leistung.** Durchschnittlicher Fortschritt im Arbeitstag (24 Stunden) 2,59 m und 10,46 kg Dynamit für das Meter Stollen verbraucht.

**Kosten.** Gedingepreis einschließlich Gestellung der Luftpumpen, Druckluftleitung, Bohrmaschinen, Sprengmaterial, Gezähe und einschließlich der Förderung der Berge bis auf die Halde betrug durchschnittlich 83 M. für das Meter Stollen. Gesamtkosten der Maschinenanlage für beide Stollen, Lokomobile, Elektromotor, 2 Luftpumpen, 2 Luftbehälter, Druckluftleitung, Bohrmaschinen ungefähr 40000 M.

**15. Stollen auf der Eisensteingrube Rozstocken der Oberschlesischen Eisenbahn-Bedarfs-Aktiengesellschaft Bergverwaltung Markusfalva in Oberungarn.** 1897 bis 1899 ein Stollen von 798 m Länge mit Bohrmaschinen aufgefahren.

**Gebirgsbeschaffenheit.** Feldspat und Thonschiefer, teilweise sehr fester Grünstein.

**Querschnitt.** Breite 1,8 m und Höhe 2,1 m.

**Maschinenanlage.** Riemenluftpumpe System Burckhardt & Weifs von 6 cbm angesaugter Luft in der Minute. Die Luft wurde auf 4 bis 5 Atmosphären Überdruck geprefst und gelangte zunächst in einen Luftbehälter von 6 cbm Inhalt. Vor Ort waren meist 2, bei besonders festem Gebirge 3 Frölich'sche Bohrmaschinen mit hydraulischen Bohrsäulen in Thätigkeit.

**Angriffsart.** Durchschnittlich 17 Bohrlöcher von 1,39 m Tiefe und 30 bis 60 mm Weite. Kegelförmiger Einbruch mit 4 Bohrlöchern. Durchschnittliche Zeitdauer der Bohrung 5 Stunden 23 Minuten. Durchschnittliche Dauer der Schiefsarbeit und des Wegfüllens der Berge 6 Stunden 7 Minuten. Ein Angriff wurde also in 11 Stunden 30 Minuten ausgeführt. Hierbei durchschnittlicher Fortschritt 1,25 m und 14,93 kg Dynamit verbraucht. Die Belegschaft bestand aus 3 Bohrern und 4 Schleppern mit 8stündigen Schichten, sodafs also im Tag im ganzen 21 Mann für einen Ortbetrieb beschäftigt waren.

**Leistung.** Durchschnittlicher Fortschritt im Arbeitstag (24 Stunden) 2,62 m und 12,32 kg Dynamit für das Meter Stollen verbraucht.

**Kosten.** Der Gedingepreis einschließlich Gestellung der Luftpumpe, der Druckluftleitung, der Bohrmaschinen, Sprengmittel, Gezähe und einschließlich der Förderung der Berge bis auf die Halde betrug 93 M. für das Meter Stollen. Gesamtkosten der Maschinenanlage, Lokomobile, Luftbehälter, Druckluftleitung, Bohrmaschinen ungefähr 30000 M.

### § 38. Beispiele ausgeführter Bohrungen mit Drehbohrmaschinen.

**1. Stollen des Sonnstein-Tunnels<sup>37)</sup>** (Salzkammergut-Bahn). Der Richtstollen (Sohlenstollen) des 1430 m langen Tunnels wurde von beiden Mundlöchern und von zwei Seitenstollen aus vom März 1876 bis April 1877 lediglich mittels Handbohrung, vom 11. April 1877 ab zur Beschleunigung der Arbeit mit Zuhilfenahme von Maschinenbohrung betrieben, durch die er am 11. August 1877 fertiggestellt wurde.

**Gebirgsbeschaffenheit.** Fester massiger Dolomit und fester Kalkstein.

**Querschnittsfläche.** Der Stollen hatte 6,5 qm.

**Maschinenanlage.** Es kamen Brandt's hydraulische Drehbohrmaschinen zur Verwendung. Die Anlage bestand aus zwei liegenden Dampfmaschinen, an deren verlängerten Kolbenstangen die Druckpumpen angekuppelt waren, einem Kraftsammler, 4 Stück hydraulischen Bohrmaschinen, einer Lokomobile zum Betrieb einer Kreiselpumpe für Herbeischaffung des Betriebswassers und eines Ventilators für die Belüftung des Stollens. Der Arbeitsdruck betrug beim Bohren in Dolomit 75 Atmosphären, in Kalkstein mußte er auf 85, ausnahmsweise 100 Atmosphären gesteigert werden.

**Betriebsart.** Beim Handbohren wurden Löcher von 26 bis 27 mm Durchmesser gebohrt und dabei in der Minute eine Lochtiefe von 9 bis 15 mm erzielt. Der größtmögliche Stollenfortschritt, der

Fig. 109.

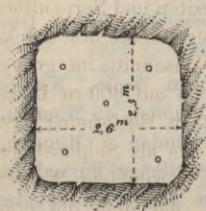
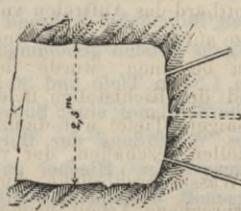


Fig. 110.



hierbei zu erreichen war, betrug 1,13 m in 24 Stunden. Mit der hydraulischen Bohrmaschine wurden Löcher von 88 mm Durchmesser gebohrt und dabei in der Minute im Dolomit eine Lochtiefe von 20 bis 30 mm, in festem Kalkstein von 30 mm erzielt. Das Ort wurde mit 5 oder 4 Bohrlöchern besetzt (Fig. 109 u. 110), um die ganze Stollenbrust abzusprennen. Die mittlere Bohrlochtiefe betrug 1,3 m (0,8 bis 1,6 m). Zur Ladung wurden für jedes Loch 3 bis 4 kg Dynamit No. 1 verwandt. Für eine Bohrmaschine waren

vor Ort an Bedienungsmannschaften erforderlich: 1 Maschinist und 2 Handlanger, die anfangs in 8stündigen Schichten mit je einmaligem, später in 12stündigen Schichten mit je zweimaligem Abschiesfen arbeiteten. Während des Bohrens wurde hinter der Maschine das Wegräumen der Berge besorgt. — Eine durchschnittliche Tagesaufschreibung für 24 Stunden ergab: Bohrzeit 10,7 Stunden, Ladezeit 1,1 Stunden, Schüttzeit 11,7 Stunden, Abgang 0,50 Stunden. — Vor Ort war in zwei Stollen je nur eine Bohrmaschine an einer gleichfalls von Brandt gebauten hydraulischen Bohrsäule in Betrieb.

**Leistung.** Der durchschnittliche Stollenfortschritt betrug f. d. Tag und Maschine während des regelmäßigen Betriebes 2,04 m. Der größte Fortschritt wurde in den Tagen vom 15. bis 30. Juli erreicht, an welchen täglich 2,7 m aufgeföhren wurden.

**Kosten.** Die Anlagekosten betragen in Summa 69660 M., davon entfallen auf Herstellung des Bauplatzes und des Maschinenhauses 3870 M., auf Dampfkessel, Vorwärmer, Lokomobile, Druckpumpen, Kraftsammler, Kreiselmaschinen, Drehbank und Werkzeuge einschließlic Aufstellung 25020 M., auf 4 Bohrmaschinen, vollständig ausgerüstet mit Gestänge, Bohrern, Rohrverbindungen und Werkzeugen 21330 M., auf Druckwasser- und Windleitungen (je rund 700 m) 12330 M., auf Fracht, Zoll, Besoldungen und verschiedene Ausgaben 7110 M.

Die Betriebskosten der Maschinenbohrung beliefen sich für die gesamte Arbeitszeit zusammen auf 95220 M., davon entfielen auf Gehalte und Löhne für den Maschinendienst 19638 M., auf Kohlen 11286 M., auf Ausbesserungen an den Maschinen, Verbrauch an Bohrern u. s. w. 6840 M., auf Öl, Petroleum, Werg und verschiedene Ausgaben 2916 M., auf Löhne der Häuer, Schlepper, Tagelöhner, Schmiede, Zimmerleute 19350 M., auf Dynamit und Zündmaterial 27684 M., auf Verbrauch von Werkzeugen, Holz u. s. w. 7506 M. Im ganzen wurden mit Maschinen 52,5 m Seitenstollen und (105+131) 236 m Sohlenstollen (zusammen rund 290 m) von 6,5 qm Querschnittsfläche aufgeföhren. v. Grimburg berechnet den nachträglichen Wert der Anlage zu 26100 M., es verbleiben mithin an Anlagekosten 43560 M., sodafs sich die Kosten pro 1 m Stollen berechnen an Anlagekosten zu 150 M., an Betriebskosten zu 328 M., im ganzen zu 478 M. Es ist indessen hervorzuheben, dafs hier die Brandt'schen Drehbohrmaschinen zum ersten Male in Betrieb waren.

<sup>37)</sup> v. Grimburg. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1878, S. 1. — Vergl. auch den IV. Band dieses Handbuchs, Kap. II, S. 191. Anwendungen der hydraulischen Transmission im Tunnel- und Bergbau.

**2. Querschlag auf der Zeche Rheinpreußen bei Homberg.** Die Zeche führte unter eigener Leitung einen Wetter-Sohlenquerschlag aus.

Gebirge. Kohlengebirge-Sandstein, Sandsteinschiefer und Kohlschiefer.

Querschnitt. Breite 2,0 m, Höhe 2,3 m.

Maschinenanlage. Brandt'sche Drehbohrmaschine. Von Tage tritt das Wasser in die schmiedeiserne Druckwasserleitung von 6 cm Durchmesser und wird direkt vor Ort zu den Maschinen geleitet ohne weitere Druckvermehrung. Die Sohle befindet sich auf 300 m Tiefe und steht somit ein Druck von 30 Atmosphären zur Verfügung.

Die Anlage besteht aus: 2 Bohrmaschinen, 1 hydraulischen Spannsäule, Bohrwagen und vollständigen Ausrüstung mit Gestängen, Bohrern, Rohrverbindungen und Werkzeugen.

Leistung und Kosten. Vor Beginn der Maschinenbohrung war durch Handarbeit pro Monat 21,9 m Fortschritt erzielt zu den Kosten von 44,93 M. für das m. Die Leistung im Betriebe mit Maschinen betrug im Monat durchschnittlich 87,37 m zu 44,85 M. Die größte Leistung in einem Monat hatte sich auf 109,5 m gesteigert. Man vergleiche Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. „Glückauf“ 1880, No. 86.

**3. Richtstollen des Brandleite-Tunnels (Erfurt-Ritschenhausen), 3033 m lang, östliche Seite.** — Auf etwa 700 m Länge erlitten die Bohrungen mehrfach Unterbrechungen. Der Bauarbeitsplan war wesentlich beeinflusst durch die Annahme, daß der zu durchörternde Fels teils festes, grobes Konglomerat, teils Felsit-Porphyre, sehr große Schwierigkeiten bereiten werde. Diese Annahme war nach allen Erfahrungen berechtigt. Hatte doch noch am Gotthard das Auftreten von Quarziten und Serpentin die Bohrzeiten sehr verlängert und die Tagesfortschritte auf 2,5 m und auf weniger für Monate beschränkt. Um daher den Richtstollen möglichst frühzeitig zu beginnen, wurde der Voreinschnitt im groben Konglomerat nur auf Firststollentiefe eingeschlitzt und der Richtstollen in der Firste auf 600 m Länge hergestellt. Durch einen donlägigen Schacht (64 m saigere Tiefe) war dann in 600 m Entfernung vom Mundloche eine weitere Angriffsstelle für den Richtstollen geschaffen, der von da aus als Sohlenstollen betrieben wurde, bis er bei 700 m infolge mächtiger Wasserdurchbrüche, denen die vorhandene Wasserhaltungs-Anlage nicht entsprach, eroff. Die ununterbrochene Arbeit begann erst, nachdem die erste Tunnelstrecke derart eingeschlitzt war, daß den Wassern freier Abfluß gestattet wurde.

Gebirgsbeschaffenheit. Etwa 700 m grobe Konglomerate und Sandsteine des Rotliegenden, 1100 m Porphy, krystallinisch, hart, teils zerklüftet, teils festgeschlossen und massig, in den Klüften Wasser führend.

Querschnitt. 2,8 m breit, 2,5 m hoch, Wasserröche 0,5 × 0,5 m, Querschnittsfläche im Durchschnitt, weil die zerklüfteten Strecken mehrfach Platz für Einbaue erforderlich machten, rund 7 qm.

Handarbeit begann im Januar 1881. Maschinenbohrung vom 21. Juni 1881 bis 17. November 1881, ruhte ganz bis 20. Mai 1882 und führte zum Durchschlag am 5. Februar 1883.

Maschinenanlage. 2 Paar Druckwasserpumpen mit einer Wasserlieferung von je 3 l in der Sekunde zu 60 bis 80 Atmosphären. 1 Kraftsammler, betrieben durch 1 Partialturbine. Druckrohrleitung hatte 70 mm lichte Weite; Luftleitung aus 2½ mm starkem verzinktem Eisenblech mit Flanschenverbindung, 25 mm Durchmesser, 1 Ventilator von 1,3 m Raddurchmesser mit unmittelbarem Antrieb von einer kleinen Turbine. 6 Bohrmaschinen System Brandt, von denen je drei gleichartig vor Ort auf einer Spannsäule befestigt waren.

Angriffsart. Je nach Klüftigkeit und Hübigkeit wurde das Ort mit 6 bis 10 Löchern von 1 bis 2 m Tiefe abgebohrt; es wurde gesprengt mit Dynamit und Gelatine, im Mengenverhältnis etwa von 4:1 und zwar mindestens 12 kg Dynamit im Sandstein und höchstens 30 kg Dynamit + 7 kg Gelatine in dichten Porphyren. — Die Zündung geschah mittels verschieden gelängerter Kautschukzünder, zuerst die der leichteren, dann die der schwereren Schüsse. — Für die Entlüftung genügten 15 Minuten, während welcher Zeit der Ventilator stärker blies und mittels feingestäubten Druckwassers auf 20 m vor Ort die Luft von ihren Staub- und Gasbeimischungen befreit wurde. — Die Belegschaft bestand aus 3 Partien, je aus dem Drittführer, 4 Maschinenhäuern, 4 Häuern für Rösche und Einbau und 8 Schleppern. Sämtliche Leute arbeiteten während der achtstündigen Schicht anhaltend. Infolge besonderen Vertragsverhältnisses war die Wahl des Transportsystems nicht frei. In vorhandenen Wagen von 2,2 cbm Inhalt und 90 cm Spurweite mußte der Schutt zum Weiterschaffen auf die Halde an bestimmter Stelle übergeben werden. Demgemäß wurde der Bohrwagen mit Maschine nach dem Abbohren 150 m von Ort abgefahren; zwischen die Schienen des Fördergleises von 90 cm Spur wurden auf diese Strecke 2 provisorische Schienen für 2 Fördergleise von 35 cm Spur eingelegt. In sehr leichten niedrigen Stahlblechwagen von 0,4 cbm Inhalt und 35 cm Spurweite wurden die gelösten Berge verladen, abgefahren und auf eine Seite längs des Hauptgleises abgelagert. Die Verladung des Schuttes in die großen Förder-

wagen geschah dann während des Bohrens, während welcher Zeit auch Schienengleise, Holzeinbau und Wasserrösche hergestellt wurden.

Leistung. Der durchschnittliche Fortschritt betrug täglich 4,12 m, die größte Monatsleistung 144,6. Die Arbeit ging vor sich bei beständigem Andrang von Wasser, das unter ansehnlichem Druck auch auf lange Strecken aus der Firste niederströmte. Die Leistung übertraf die gehegten Erwartungen; anfängliche Handbohrung im harten Konglomerat ergab nur Tagesfortschritte von 0,3 bis 0,5 m.

**4. Arlberg-Tunnel, 10240 m lang. Westliche Seite.** Die Maschinenarbeit begann am 13. November 1880. Der Durchschlag erfolgte am 13. November 1883.

Gebirgsbeschaffenheit. Auf etwa 1500 m des Richtstollens (Sohlenstollens) wurden Glimmer- und Graphitschiefer getroffen, die durch Verwerfung und Klüftung gestört, druckhaft und wasserführend waren. Sie erforderten beständigen schweren Einbau, oft Getriebezimmerung. Maschinelles Bohrbetrieb daher nur mit Unterbrechungen. Von 1500 m trat der Stollen in den festen Hauptstock des Arlberges, der andauerte mit hartem, standfesten Glimmerschiefer, Genoit- und Quarzgingen.

Querschnitt des Richtstollens im Lichten 2,75 m Breite bei 2,5 m Höhe.

Die Maschinenanlage war unter sehr weitgehender Fürsorge und in dem alle anderen Rücksichten beherrschenden Bestreben nach einem ununterbrochenen Fortgange der Arbeiten und einem frühen Durchschlag des Richtstollens ausgeführt. Sämtliche Wasserkräfte, die das Alfenzthal oberhalb und nahe unterhalb der Tunnelmündung bot, waren nutzbar gemacht. Als äußerster Rückhalt diente für wasserarme Zeiten eine 80 pferdige Dampfmaschine. Im gleichen Maße wie für die Beschaffung der Arbeitskräfte war die Fürsorge auf die übrigen maschinellen Anlagen gerichtet und wurde deren Umfang fast zu beträchtlich. — Es waren 6 hydraulische Kraftpumpenpaare mit 4 Kraftsammlern aufgestellt, von denen mindestens zwei Paare als Ersatz dienten. Die Prefswasserleitung hatte einen lichten Durchmesser von 70 mm und wurde später teilweise auf 80 mm vergrößert. — Für die Belüftung bestanden zwei Gruppen von anfänglich 3, später 4 Ventilatoren, von denen je einer die gepresste Luft in den folgenden blies. Je eine dieser Gruppen genügte für sich allein, als Ersatz diente die zweite. Luftleitung 0,5 m Durchmesser, bezw. 0,3 m in der Arbeitsstrecke.

Mit den Anlagen wurden während des Betriebes Leistungsproben vorgenommen. Es ergab eine Gruppe bei einer Brutto-Wasserkraft von 253 PS. und bei 1785 Umdrehungen des Saugventilators

im 1. Ventilator einen Winddruck von 950 mm Wassersäule

„ 4. „ „ „ „ 2100 „ „

ferner die Saugluftmenge in der Minute 220 oder in der Sekunde 3,67 cbm.

Daraus berechnet sich ein Wirkungsgrad von 40,5% für die ganze Anlage (der Widerstand entsprang aus 1600 m Leitung von 500 mm und 1650 m von 300 mm Durchmesser).

Die Bohrung verrichteten 4 Brandt'sche Drehbohrmaschinen, von denen je 2 auf einer hydraulischen Spannsäule von 2,4 m Länge sich befanden. Die beiden Säulen trug ein Bohrwagen.

Angriffsart. Die Zahl der Bohrlöcher war bei dem wechselnden Gebirge sehr schwankend zwischen 5 und 14 bei Tiefen von 1 bis 2 m. Nach dem Abbohren fuhr man die Maschinen in eine seitliche Weichennische, sprengte ähnlich wie am Brandleite-Tunnel und entlüftete wie dort.

Die Förderwagen standen indessen in genügender Anzahl in einer 50 bis 150 m entfernten Weichennische, aus der sie dann einzeln oder paarweise vor Ort gebracht wurden. Die Berge wurden mittels Hacken auf Blechkufen gescharrt und von diesen in die Wagen gehoben. Das Gewicht der gefüllten Kufen gestattete, daß sie von einem Mann gehoben wurden. Die Wagen hatten einen Inhalt von etwa 1,4 cbm; für ihre Bauart war maßgebend, sie so niedrig wie möglich zu halten, um das Laden vor Ort leicht zu gestalten. Deshalb waren die Kasten direkt auf den Wagenrahmen befestigt, ohne eine Kippvorrichtung. Die Entleerung geschah durch Ausschaukeln oder Umkippen des ganzen Wagens.

In dem gebräuchlichen Gebirge der ersten 1500 m wäre unter Innehaltung der Abmessungen des endgiltigen Sohlenstollens ein gedeihlicher Vortrieb mit Bohrmaschinen unmöglich geworden. Man entschloß sich demnach zur Ausführung eines vorläufigen, schmalen und niedrigen Stollens von kaum 2 auf 2 m im Lichten, dessen Verzimmerung unter Zuhilfenahme eiserner Einbaubogen geschah. Die Erbreiterung auf die endgiltigen Weiten und die abermalige Auszimmerung mit starken Hölzern war sehr kostspielig. Infolge der Belohnungen bezw. Strafen für Mehr- oder Minderleistung von 3,3 m im Tag wurden aber die Rücksichten auf die Kosten durch jene auf raschen Fortschritt überwogen.

Leistung. Die eigentliche ununterbrochene mechanische Bohrung konnte erst nach Überwindung der gebräuchlichen und druckhaften Strecke von 1500 m Länge beginnen — etwa vom Dezember 1881 ab, wo sich die täglichen Fortschritte bereits auf 3,76 m gesteigert hatten. Der größte Monatsfortschritt, zugleich die größte bisher überhaupt erzielte Leistung betrug 196 m im Monat August 1883.

Tabelle XIV.

Durchschnittsleistungen bei der Ausführung des Sohlenstollens am Arlberg-Tunnel.

Gegenstand		Ostseite Stofs- bohrmaschinen	Westseite Dreh- bohrmaschinen	Zusammen
Zeitdauer der Handarbeit vor Beginn der maschinellen Bohrung . . . . .	Tage	145	141	286
Zeitdauer der Maschinenarbeit . . . . .	"	1093	1096	2189
Unterbrechungen und Störungen in der letzteren Periode und zwar:				
a) durch Feiertage und Kontrolle der Mittellinie	"	24,0	22,3	46,7
b) durch maschinelle Störungen . . . . .	"	7,2	10,2	17,4
c) durch schlechte Gebirgsbeschaffenheit (teilweise durch Handarbeit ausgefüllt) . . .	"	17,7	173,6	191,3
Reine Arbeitszeit der maschinellen Periode nach Abzug aller Unterbrechungen . . . . .	"	1044,1	889,9	1934,0
Tiefe des erstellten Stollens von Beginn an . . .	m	5498	4762	10260
Desgl. mit Ausschluß aller durch Handarbeit erreichten Fortschritte . . . . .	"	5290	4406	9696
Durchschnittlicher Fortschritt am Tag für den ganzen Stollen (die Handarbeit eingerechnet) .	"	4,44	3,85	8,29
Desgl. nur in der Zeit, wo maschinell gearbeitet wurde, ohne Abzug für die Unterbrechungen .	"	5,03	4,34	9,37
Desgl. nach Abzug aller durch Unterbrechungen und Störungen beanspruchten Zeit und verteilt auf die nur durch maschinelle Arbeiten aufgefahrene Stollenlänge . . . . .	"	5,07	4,95	10,02
Gesamtzahl der Bohrangriffe . . . . .	Anzahl	3588	3177	6765
Durchschnittliche Dauer eines Bohrangriffs . . .	Stunden	7,20	6,43	—
Durchschnittlicher Fortschritt bei einem Bohrangriff	m	1,48	1,39	—
Summe aller maschinell hergestellten Bohrlöcher im Stollen . . . . .	Anzahl	100100	35800	135900
Durchschnittliche Anzahl der Löcher bei einem Bohrangriff . . . . .	"	28	11	—
Gesamttiefe der maschinell gebohrten Löcher im Stollen . . . . .	m	168500	48500	217000
Gesamtverbrauch an Bohrerschneiden zur Herstellung der Löcher . . . . .	Anzahl	331000	98000	429000
Durchschnittlicher Verbrauch an Bohrerschneiden für 1 m Stollenfortschritt . . . . .	"	63	22	—
Durchschnittliche Lochtiefe, die mit einer Bohrerschneide hergestellt wurde . . . . .	m	0,51	0,49	—
Gesamtverbrauch an Dynamit zur Herstellung des Stollens . . . . .	kg	102000	72000	174000
Durchschnittlicher Verbrauch an Dynamit für 1 m Stollen . . . . .	"	19,3	16,3	—

Die vorstehenden Angaben über die durchschnittlichen Leistungen bei der Ausführung des Sohlenstollens am Arlberg-Tunnel haben wir den interessanten Vorträgen des k. k. Inspektors G. Plate<sup>38)</sup> entnommen. Sie beziehen sich auch auf die Ostseite des Tunnels, auf der, wie am Gotthard-Tunnel, mit

<sup>38)</sup> Über die Ausführung des Arlberg-Tunnels. Vier Vorträge, gehalten von Gustav Plate, k. k. Inspektor, Vorstand der Abteilung für Oberbau, Mechanik und Fahrbetriebsmittel der k. k. Direktion für Staats-Eisenbahnbauten in Wien. Wien, Spielhagen & Schurich.

Ferroux'schen Stofsbohrmaschinen gearbeitet wurde. Anfänglich waren auch hier, wie am Gotthard, nur 6 Maschinen auf einem Bohrgestelle in Anwendung, seit Anfang des Jahres 1882 aber deren 8, infolge dessen sich die zu einer Bohrung (Bohren, Sprengen und Fördern) benötigte Zeit von 8 Stunden auf fast 6 Stunden verminderte. Die Druckluft, mit der die Bohrmaschinen betrieben wurden, war auf 5 bis 6 Atm. gepresst und wurde in 222 mm weiter Leitung zugeführt.

Schließlich möge hier noch eine derselben Quelle entnommene Tabelle Platz finden, die einen bemerkenswerten Vergleich über die am Gotthard und am Arlberg erzielten Arbeitsfortschritte bei Ausführung des Sohlenstollens bietet und einen Beweis für die bedeutende Entwicklung der Bohrtechnik in den fraglichen Jahren liefert.

Tabelle XV. Vergleich der Arbeitsfortschritte am Gotthard- und Arlberg-Tunnel.

Gegenstand	Gotthard-Tunnel		Arlberg-Tunnel	
	Südseite	Nordseite	Ostseite	Westseite (Drehbohr- maschinen).
Beginn der Handarbeit im Richtstollen . . . . .	1872	1872	1880	1880
	Septbr. 13.	Oktober 24.	Juni 24.	Juni 25.
Beginn der maschinellen Arbeit im Richtstollen . . . . .	1873	1873	1880	1880
	Juli 1.	April 4.	Novbr. 17.	Novbr. 13.
Dauer der Handarbeit . . . . . Monate	9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	4 <sup>2</sup> / <sub>3</sub>	4 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
Stollentiefe, die in dieser Zeit aufgeföhren wurde m	220,2	90,0	220,5	206,6
Durchschnittlicher Fortschritt in der Periode der Handarbeit für den Monat . . . . . m	23	17	47	46
Zeitdauer für Aufföhren des ersten Kilometers einschl. der Periode der Handarbeit . . . . . Monate	22 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	19 <sup>1</sup> / <sub>3</sub>	11 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	14 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
Zeitdauer für die Aufföhren des zweiten Kilometers Monate	11	10 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	7 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>	8 <sup>1</sup> / <sub>4</sub>
Desgl. des dritten Kilometers . . . . . "	11	11 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6	7
" " vierten " . . . . . "	11	11	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>
" " fünften " . . . . . "	13	9	—	—
" " sechsten " . . . . . "	9	10	—	—
" " siebenten " . . . . . "	9 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	8	—	—
Durchschnittlicher Fortschritt in der Periode der maschinellen Bohrung für den Monat im ersten Kilometer . m	60	65	110	79
im zweiten Kilometer . . . . . "	91	95	138	121
" dritten " . . . . . "	91	87	166	143
" vierten " . . . . . "	91	91	156	160
" fünften " . . . . . "	77	111	—	—
" sechsten " . . . . . "	111	100	—	—
" siebenten " . . . . . "	105	125	—	—
Länge des Stollens . . . . . m	14 912		10 260	

### Litteratur,

#### Maschinenbohren betreffend.

##### a) Allgemeines.

- Stapff, E. M. Über Gesteinsbohrmaschinen. 1869.
- Jordan, Th. B. On Rock drilling machinery. Birmingham 1874.
- Angström, C. A. Über Gesteinsbohrmaschinen. Leipzig 1874.
- Über Resultate von Gesteinsbohrmaschinen. Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1875, S. 341.
- Über Bohrmaschinen. Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1875, S. 448.
- Ziebarth, R. Die Gesteinsbohrmaschinen der Wiener Ausstellung. Dinger's polyt. Journ. 1875, Bd. 215, S. 203.
- Rziha. Über die Entwicklung der Tiefbohrtechnik und speziell über die Diamant-Röhrenbohrung. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1876, S. 1.
- Colladon, D. Die maschinellen Arbeiten zur Durchbohrung des Gotthard-Tunnels. Zürich 1876.
- Riedler, A. Gesteinsbohrmaschinen und Luftkompressoren. Wien 1877.
- Dolezalek. Bemerkungen über Bohrmaschinen-Arbeit im Gotthard-Tunnel. Zeitschr. des Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878, S. 41.

- Jarolimék. Die Bohrmaschinen der Pariser Ausstellung von 1878. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1879, No. 5, S. 58 u. a.
- Maschinenbohrung im Erbstollen zu Chemnitz. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1879, S. 351; Deutsche Bauz. 1879, S. 375.
- Wortmann und Frölich. Brandt'sche und Frölich'sche Bohrmaschinen. Deutsche Bauz. 1880, S. 255.
- Erdmann, C. Vortrag über den heutigen Stand der Bohrtechnik, speziell über die Frölich'sche Gesteinsbohrmaschine. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1880, S. 37.
- Ergebnisse des Bohrbetriebes in den beiden Sohlenstollen des Arlberg-Tunnels. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1882, S. 97.
- Stockalper. Über die Bohrarbeit in Tunneln. Revue générale des chemins de fer 1882, März, S. 215.
- Der maschinelle Bohrbetrieb in den Gruben zu Stolberg in Westfalen. Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1882, S. 43.
- Anwendung der Bohrmaschinen von Schram und Brandt im Grubenfelde „Beihilfe“ unweit Freiberg. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1882, Mai, S. 218.
- Die Anwendung von Elektromotoren für Bohrmaschinen im Tunnel. Scientific american 1884, I. S. 29.
- Lorenz. Die Bohrmaschinen für Tunnelbauten. Umland's Techn. Rundschau 1887, S. 111 u. 115.
- Rziha. Die Bohrfestigkeit der Gesteine. Sonderabdruck aus der Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1888; Wien 1889.
- Schrader, H. Die Anwendung von Gesteinsbohrmaschinen beim Mansfelder Kupferschiefer-Bergbau. Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1889, S. 295.
- Rindl, E. Über Gesteinsbohrmaschinen. Centrabl. d. Bauverw. 1889, S. 3.
- Rindl, E. Die Bohrmaschine im Mansfelder Kupferschiefer-Bergbau. Centrabl. d. Bauverw. 1890, S. 343.
- Bohrmaschine mit Schmirgel-Bohrkrone. Schweiz. Bauztg. 1890, II. S. 134.
- Stelzner. Erfahrungen über Gesteinsbohrmaschinen. Civil-Ing. 1891, S. 13.
- Elektrische Bohrmaschinen im Bette des Mississippi. Centrabl. d. Bauverw. 1892, S. 300.
- Elektr. Gesteinsbohrmaschinen. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1893, S. 33.
- Schrader. Die neuen Fortschritte bei der Anwendung von Gesteinsbohrmaschinen und die Versuche mit kleinen Schrämmaschinen beim Mansfelder Kupferschiefer-Bergbau. Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1893, S. 110.
- Gad, E. Neuerungen in der Tiefbohrtechnik. Dingler's polyt. Journ. 1895, Bd. 297, Heft 1 u. 2, S. 9 u. 35.
- Stofs- und Drehbohrmaschinen der Firma Siemens & Halske. Elektrotechn. Zeitschr. 1893, Heft 45, S. 648.
- Bohrungen und Aufmessungen für den Prinz Edward-Insel-Tunnel. Engng. news 1893, I. S. 614.
- Elektrische Kraftübertragung im Tunnelbau. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1894, S. 18.
- Meißner. Elektrischer Antrieb für Gesteinsbohrmaschinen und das Gesteinsbohrverfahren von Siemens und Halske. Elektr. Zeitschr. 1895, S. 537 u. 641.
- Thiriart. Neue Gesteinsbohrmaschinen mit Handbetrieb. Revue univ. des mines 1895, Okt. S. 62.
- Tecklenburg, Ph. Handbuch der Tiefbohrkunde. Leipzig 1896.
- Kinzer. Elektrische Bohrung des Nafsach-Tunnels. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1897, S. 517.
- Tunnelbohrung für die Jungfrau-Bahn. Ann. f. Gew. u. Bauw. 1898, I. S. 167.
- Selbstthätiger Wasserdruckerhöher für Bohrarbeiten der Londoner Untergrundbahn. Engineering 1899, II. S. 703.
- Ermittelungen über den Kraftverbrauch der verschiedenartigen Bohrmaschinen. Zeitschr. d. Vor. deutscher Eisenbahnverw. 1900, S. 319.

## b) Stofsbohrmaschinen und Bohrgestelle.

- Mac Kean's Gesteinsbohrmaschine. Engineering 1872, S. 54.
- Gurll, Ad. Der Darlington-Gesteinsbohrer. Bonn 1875.
- Ferroux'sche Gesteinsbohrmaschine. Dingler's polyt. Journ. 1875, Bd. 216, S. 495.
- Darlington's Gesteinsbohrmaschine. Polyt. Centrabl. 1875, S. 1463.
- Frölich's Bohrmaschine. Engineering 1878, S. 381; Maschinenbauer 1879, S. 178; Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1879, S. 494.
- Bohrmaschine von Schram und Mahler. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1879, S. 535; Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1880, S. 80.
- Neill's Verbesserungen an Darlington's Bohrmaschine. Polyt. Journ. 1881, Bd. 239, S. 182; Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1880, Bd. 28, S. 239.
- Bohrgestell von Neuerburg und Trautz (D. R. P.). Polyt. Journ. 1881, Bd. 240, S. 101.
- Bohrspreize der Duisburger Maschinenbau-Aktiengesellschaft (D. R. P.). Polyt. Journ. 1882, Bd. 239, S. 348.

- Bohrmaschine der Maschinenbau-Anstalt A. G. Humboldt in Kalk bei Köln. Wochenschr. d. Ver. deutscher Ing. 1882, S. 123.
- Bohrmaschine von Jarolimek. Wochenschr. d. Österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1882, S. 83; Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1882, März, S. 103 u. a.
- Neuerungen an G. Richter's Bohrmaschinen. Wochenschr. d. Ver. deutscher Ing. 1882, S. 113.
- „Duncan“, Gesteinsbohrmaschine. Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1883, S. 69.
- Bohrmaschine von Meyer. Prakt. Maschinenkonstr. 1878, S. 467; Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1883, S. 342.
- Pelzer's Steuerung für Gesteinsbohrmaschinen (D. R. P.). Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1885, S. 133.
- Bohrmaschine von Heysshuysen (D. R. P.). Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1885, S. 166.
- Bohrmaschine von Halfey. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1885, S. 273.
- Gesteinsbohrmaschine nach C. Bornet. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1892, S. 596; Génie civil 1893, Bd. XXII, S. 382.
- Elektrische Bohrmaschine von A. L. Steavensen. Engineering 1893, II. S. 522.
- Neue Gesteinsbohrmaschine. Engineering 1894, II. S. 773.
- Steinbohrer von P. J. Ogle. Engineer 1894, II. S. 568.
- Marvin's elektrische Steinbohrmaschine. Engng. news 1892, II. S. 171 u. 178, 1895, II. S. 319; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1893, S. 33; Génie civil 1896, Bd. 29, S. 362.
- Verbund-Druckluft-Bohrmaschine nach Ogle. Revue industr. 1896, Mai, S. 201.
- Drolz. Die elektrischen Stofsbohrmaschinen. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. Wien 1894 u. 1896.
- Gesteinsbohrer und Luftverdichter von François. Engineering 1897, II. S. 289, 294 u. 365.
- Jackson. Gesteinsbohrmaschine für Handbetrieb. Engineering and mining journ. 1898, S. 435.
- Gesteins-Stofsbohrmaschine „Heureka“. Engineering and mining journ. 1898, S. 493.
- Neue elektrische Stofsbohrmaschine. Génie civil 1898, Bd. 33, S. 46.

#### e) Drehbohrmaschinen.

- Pupovac, M. Die Diamantbohrmaschine und ihre Verwendung beim Schürfen u. s. w. Wien 1874.
- Dieck, A. Über die Anwendung des Diamant-Gesteinsbohrers in der Bautechnik. Deutsche Bauz. 1876, S. 405.
- Riedler, A. Brandt's hydraulische Gesteinsbohrmaschine. Wien 1877.
- Rziha. Über die Brandt'sche Bohrmaschine. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1877, S. 231.
- Sautter. Diamantfröhrenbohrung und ihre Verwendung beim Tunnellieren u. s. w. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1878, S. 20.
- v. Grimburg. Die Drehbohrmaschine Brandt beim Bau des Sonnstein-Tunnels. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1878, S. 1.
- Anwendung der Beaumont'schen Diamantbohrmaschinen auf der Zeche „Siebenplaneten“ bei Dortmund. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1879, S. 21.
- Desgl. bei einem Querschlage am Albert-Schachte im Plauen'schen Grunde. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1879, S. 179.
- Desgl. bei einem Querschlage zu Albona. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1879, S. 263.
- Desgl. auf der Zeche „Rheinpreußen“. Dasselbst 1879, S. 415.
- Angaben über Brandt'sche Bohrmaschinen beim Bau des Ochsenkopf-Tunnels. Zeitschr. f. Bauw. 1880, S. 90.
- Betriebsergebnisse der Brandt'schen Bohrmaschine. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1882, S. 39.
- Der Adelaide-Steinbohrer. „Glückauf“ 1885, No. 36.
- Schede. Elektrische Drehbohrmaschine im Salzbergwerk Ischl. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1893.
- Brandt's Wasserdruck-Gesteinsbohrmaschinen für den Bau des Simplon-Tunnels. Engineer 1895, I. S. 74.
- Gesteinsbohrer für Sprenglöcher. Engineer 1895, I. S. 274.
- Gesteinsbohrmaschine von Thomas. Prakt. Maschinenkonstr. 1896, S. 70.
- Bohrmaschine zum Bohren gekrümmter Löcher. Revue techn. 1896, S. 455.
- Handdrehbohrmaschine „Hardy“. Ann. f. Gew. u. Bauw. 1898, I. S. 214.
- Gesteinsbohrmaschine mit elektr. Antrieb von Siemens & Halske. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1898, S. 760.
- Gesteinsbohrmaschinen von Dinnendahl und Brandt. Umland's techn. Rundschau 1899, No. 1, S. 9.
- Schraml. Über die Entwicklung der Gesteins-Drehbohrmaschinen mit elektr. Antrieb. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1901, S. 263 u. 280.

#### d) Druckluftpumpen (Luftkompressoren) und Luftleitungen.

- Wassersäulen-Kompressor am Mont Cenis-Tunnel. Engineering 1871, S. 283 u. 367.
- Luftkompressor für den Gotthard-Tunnel (Colladon). Polytechn. Centralbl. 1875, S. 476.

- Über Luftkompressoren zu Bauzwecken (Theorie). Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1878, S. 495.  
 Kompressor von Normandy, Stilwell u. a. Engineer 1879, Mai, S. 352.  
 Riedler. Über Luftkompressionsmaschinen. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1878, S. 223.  
 Dolezalek. Lufttransmission im Gotthard-Tunnel. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1880, S. 59 u. a.  
 Die Anlage von Luftverdichtern für die Bohrarbeiten im Tunnel von Vizzavona (Korsika). Revue industr. 1883, S. 313.  
 Kompressor von Burckhardt & Weifs. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1885, S. 929 u. a.  
 Riedler. Über Druckluftpumpen. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1885, S. 502, 1886, S. 935, 1888, S. 481, 1892, S. 821 u. 861.  
 Druckluftpumpen. Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1887, Bd. 35, S. 231.  
 Riedler. Die Kraftübertragung durch Druckluft in Paris. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1889, S. 185 u. 213; 1890, S. 132; 1891, S. 113, 153 u. 184.  
 Über Druckluftpumpen. Engineering 1890, Bd. 48, S. 10; Comptes rendus de la soc. des mines 1891, S. 151 u. 192.  
 Lorenz. Die Spannungsverluste in langen Druckluftleitungen. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1892, S. 621.  
 Guterath. Die Druckluftleitung in Offenbach. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1892, S. 1449.  
 v. Ihering. Gebläse. Berlin 1893.  
 Riedler. Luftkompressionsmaschinen. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1893, S. 1057.

## II. Die Förderung.

Unter „Förderung“ versteht man beim Berg- und Tunnelbau einerseits das Wegschaffen der gelösten Gebirgsmassen nach außen, andererseits das Hineinschaffen der zum vorläufigen und endgiltigen Ausbau der unterirdischen Räume erforderlichen Materialien nach innen. Dazu kommt noch, wenn auch von minderer Bedeutung, der Transport der für die Arbeit erforderlichen Geräte (Bohrmaschinen u. s. w.) in beiden Richtungen. Von hervorragender Bedeutung ist namentlich für den Tunnelbau der zuerst genannte Teil: die Förderung der gelösten Massen oder „Berge“. Ihre Einrichtung ist maßgebend und begrenzend für den erreichbaren Fortschritt der ganzen Tunnelarbeit und demnach mit in erster Linie bestimmend für die Kosten eines Tunnelbaues. Daher ist einer zweckmäßigen Anordnung der Bergförderung bei dem Entwurfe des Bauprojektes ganz besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Man unterscheidet: 1. „Stollen- oder Streckenförderung“, 2. „Schachtförderung“ und 3. „Tageförderung“, je nachdem sie durch den Stollen oder Tunnel, durch Schächte oder außerhalb des unterirdischen Baues „über Tage“ geschieht. Bezüglich des letzteren wird auf das Kap. III „Erd- und Felsarbeiten“ dieses Handbuchs verwiesen.

### A. Stollenförderung.

§ 39. Allgemeines. Zu der Stollenförderung in weiterem Sinne sind außer den Transporten innerhalb der Tunnel-Richtstollen auch diejenigen in den vollen Tunnelräumen und in den fertigen Tunnelstrecken zu rechnen, also der gesamte Transport zwischen dem vordersten Arbeitspunkte („vor Ort“) bis zur Tunnelmündung. Es genügt jedoch eine Darstellung der Stollenförderung in engerem Sinne, da diese die Transportarten im erweiterten Profil, das nur Erleichterung bietet, mit umfaßt.

Die erste Arbeit bei jeder Förderung besteht naturgemäß im Füllen der Fördergefäße, was bei kleinem, losen Materiale mit der Schaufel, bei größerem, festeren Gestein mit „Bergtrog“ oder „Fülltrog“ (Fig. 20, Taf. I), auch mit „Füllkorb“ (Fig. 8\*, Taf. I) und „Kratze“ und bei ganz groben Gesteinsstücken unmittelbar mit der Hand geschieht.

Das Umladen der Berge aus einem Fördergefäße in ein anderes ist im allgemeinen möglichst zu vermeiden, unter besonderen Umständen jedoch erforderlich. So

namentlich in dem Falle, daß eine höher gelegene Förderstrecke — z. B. ein Firststollen, wenn dieser nur kleineren Fördergefäßen Raum bietet oder für die Anlage eines Gleises von zu geringer Länge ist — an passender Stelle die geförderten Massen an die größeren Wagen der Förderbahn im Sohlenstollen oder in dem vollen Tunnelraum abgibt. In solchen Fällen benutzt man „Sturzbühnen“, auf die das Material aus dem ersten Gefäße ausgestürzt wird und die man in einer gewissen Höhe über der Fördersohle anlegt, sodafs man durch Öffnungen in den Bühnen die untergeschobenen Wagen unmittelbar füllen kann; — oder es dienen kleine, trichterartige Verbindungsschächte, sogenannte „Rolllöcher“ oder „Roller“, die senkrecht oder etwas schräg in dem zwischen der oberen und unteren Förderstrecke befindlichen, unabgebauten Profiltelle hergestellt werden, zum Abstürzen der Berge in die darunter geschobenen Fördergefäße. Auf diese Art der Umladung werden wir weiter unten zurückkommen.

Im Bergbau unterscheidet man bei der Stollenförderung: 1. „Tragen“, 2. „Schleifen“, 3. „Schwimmende Förderung“ und 4. „Rollende Förderung“. Das Tragen der Berge, das mittels Säcken, Körben oder Bütten geschieht, ist die älteste und einfachste Förderungsweise, die heute nur noch in sehr engen und unregelmäßigen Bauen vorkommt. Beiläufig mag bemerkt werden, daß diese Förderungsweise in südlichen Ländern auch bei Erdarbeiten „über Tage“ noch heute in Gebrauch steht, so in Indien u. s. w. und z. B. auch bei den Ausgrabungen in Pompeji. — Das Schleifen mittels Schlepptrog oder Schlitten kommt ebenfalls nur noch selten auf kurzen, geneigten und besonders engen Strecken vor, so z. B. in den Kupferbergwerken im Mansfeldischen. Beide Förderarten, ebenso auch die in den Gruben hier und da benutzte Förderung auf Wasserstrecken in Schiffsgefäßen finden beim Tunnelbau keine Anwendung; wir haben es daher lediglich mit der rollenden Förderung zu thun. Diese wird durch die „Karre“ oder durch den „Wagen“ vermittelt.

Die einräderige Karre findet beim Tunnelbau in untergeordneter Weise auf kurzen Strecken da Anwendung, wo die für Wagenförderung erforderliche Bahnanlage wegen zu geringer Länge oder zu unregelmäßiger und wechselnder Gestalt des in Arbeit befindlichen Raumes ungeeignet erscheint. Die Karrenförderung bezweckt dann nur die Heranführung der Berge zu den Wagen, als den eigentlichen Fördermitteln. Bei Anwendung der letzteren werden stets Spurbahnen (sogenannte „Fördergestänge“ oder „Rollbahnen“) benutzt, auf denen die Wagen laufen.

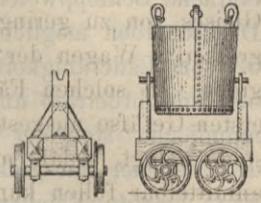
**§ 40. Die Wagen.** Im Bergbau unterscheidet man deutsche und englische Wagen. Der deutsche Wagen hat Räder ohne, der englische solche mit Spurkranz. Im Tunnelbau kommen nur die letzteren vor, wie denn überhaupt Wagen ohne Spurkränze auch bei Erdarbeiten kaum noch in Gebrauch stehen dürften. Der Wagen ist ferner, entweder 1. als Bühnenwagen, oder 2. als Gestellwagen, 3. als Wagen mit festem Kasten, 4. als Kippwagen gebaut. Die beiden zuletzt genannten Arten weichen von den bei offenen Erdarbeiten gebräuchlichen nicht ab.

- a) Der Bühnenwagen oder Plattformwagen ist ein mit einfacher Platte versehener Wagen ohne Kasten oder Borde. Er wird hauptsächlich zur Förderung der Baumaterialien und Geräte benutzt. — Bei dem im Bau begriffenen Simplon-Tunnel dienen die Plattformwagen auch zur Aufnahme der kleinen Schutterwagen, die das bei der Maschinenbohrung vor Ort gelöste Gestein enthalten.

b) Der Gestellwagen dient zum Fortschaffen loser Fördergefäße: Kübel oder Kasten, die in einem Gestell aufgehängt werden (Fig. 111).

Fig. 111. *Gestellwagen.*

c) Bei dem Kastenwagen (Gruben- oder Tunnelwagen) ist der Kasten mit dem Wagengestell fest verbunden. Der Kasten ist entweder in sich fest und geschlossen, oder er ist so gebaut, daß man zur Erleichterung des Entladens die Seitenbretter ausheben oder in Scharnieren nieder- oder aufklappen kann (Fig. 10, 11, 16 u. 17, Taf. I).



d) Der Kippwagen enthält einen gegen das feste Untergestell beweglichen Kasten, der entweder nach vorn oder nach der Seite gekippt werden kann. Die Kippwagen, namentlich die Vorderkipper, bedürfen eine gröfsere Höhe als die Kastenwagen, erschweren daher das Einladen der Berge und verursachen häufigere Ausbesserungen; dagegen erleichtern sie das Entladen bedeutend und beschränken dasselbe auf den geringsten Zeitaufwand. In den Figuren 7, 9, 12 u. 13, Taf. I sind Kippwagen dargestellt, die bei dem St. Gotthard- und beim Ender Tunnel Anwendung gefunden und sich dort gut bewährt haben. Ihr Fassungsraum beträgt 1,8 bzw. 2,0 cbm.

Im Bergbau verwendet man aufer dem Wagen noch vielfach den sogenannten „Hund“ zur Förderung. Er ist ähnlich wie der Grubenwagen gebaut und unterscheidet sich von diesem, abgesehen von der geringeren Gröfse, dadurch, daß seine nahe der Wagenmitte angebrachten Hinterräder höher sind, als die Vorderräder, sodaß der den Hund schiebende Arbeiter, der „Schlepper“ oder „Hundstößfer“, imstande ist, durch einen Druck auf die am Kasten angebrachten Handhaben den Hund lediglich auf den beiden gröfseren Rädern fortzuschieben, sowie auf dazu angebrachten Drehplatten (siehe unten) umzuschwenken. Dabei haben die niedrigen Vorderräder den Zweck, ein etwaiges Anstofsen oder Kippen des Kastens zu verhindern und denselben im ruhendem Zustande zu stützen.

Der „Hund“ in seiner älteren Gestalt wird auf einem aus Bohlen gebildeten Gestänge („Hundslauf“) geschoben. Bei dem deutschen Hunde sind diese Bohlen so gelagert, daß sie in der Mitte der Bahn eine durchlaufende Spurrinne bilden, in denen ein am Hunde angebrachter Daumen, der sogenannte Spurnagel, zur Führung des Hundes eingreift. Der ungarische Hund ist ohne eine solche Führung. In neuerer Zeit hat man auch den „Hundsläufen“ die Gestalt einer gewöhnlichen Schienenrollbahn, also den Hunden Spurkränzläder gegeben. — Der Hund eignet sich seiner leichten Lenkbarkeit wegen vorzüglich zur Förderung in engen, stark gewundenen Strecken, wie sie häufig im Bergbau vorkommen; hierbei findet er daher vielfache Verwendung. Im Tunnelbau, wo derartige Strecken nicht vorkommen und wo namentlich Massenförderung bezweckt wird, ist der Hund nicht üblich.

**§ 41. Die Förderbahnen (Fahrgestänge).** Die noch jetzt in einigen Gruben vorkommenden Holzgestänge finden bei dem heutigen Tunnelbau keine Anwendung. Hier werden die Förderbahnen wie die gewöhnlichen Erdbewegungsgleise aus Schwellen — meistens hölzernen Querschwellen — mit Eisenschienen hergestellt, wobei häufig ausgediente Schienen von Hauptbahnen vorteilhafte Verwendung finden. Wenn neues Material für diese Gleise beschafft werden muß, wendet man Grubenschienen von 4 bis 10 kg Gewicht für das laufende Meter an. Die Herstellung solcher Förderbahnen ist derjenigen über Tage entsprechend und bedarf deshalb keiner weiteren Erläuterung; es ist nur Folgendes zu bemerken: in der Regel wird unter dem Stollengleis der Wasserabzugsgraben, die sogenannte „Wasserrösch“, durchgeführt. Meistens wird daher zwischen den Schienen eine Abdeckung des Gleises notwendig, wozu z. B. im Ender Tunnel halbrunde Hölzer von 8 cm Höhe und 14 cm Breite benutzt wurden, auf denen mittels eichener Nägel Querleisten befestigt waren, um den für die Förderung verwendeten Pferden sicheren Halt zu gewähren (Fig. 13, Taf. I).

Wie bei Erdbewegungsbahnen über Tage werden auch im Stollen zweckmässig einfache Schleppweichen zur Verbindung verschiedener Gleise verwendet, während man Drehscheiben möglichst vermeidet. Bei Anwendung von kleineren Förderwagen bis zu 0,7 cbm Ladefähigkeit benutzt man auf der Absturzstelle, der sogenannten „Halde“, bei Schachtbetrieb am „Füllort“, d. h. auf der Sohle des Schachtes und am „Schachtmundloche“ statt der Weichen oder Drehscheiben mit Vorteil sogenannte „Wendeplätze“, d. h. ebene, mit gußeisernen oder gewalzten, quadratischen Platten von 0,3 bis 0,5 m Seite belegte Flächen, auf denen die Förderwagen durch den Schlepper in jede beliebige Richtung gedreht werden können. Zum bequemen Einlauf der Wagen in die Gleise dienen dabei Führungsstücke *aa*, wie aus Fig. 2 u. 5, Taf. I ersichtlich.

**§ 42. Allgemeine Anordnung der Stollenförderung.**<sup>39)</sup> Für die Einrichtung einer Stollenförderung kommen beim Tunnelbau in Betracht und stehen in gegenseitiger Beziehung zu einander: 1. die Spurweite des Fördergleises, 2. die Zahl der Gleise — eingleisig oder zweigleisig, 3. die Gröfse der Wagen, 4. das Stollenprofil.

1. Spurweite des Fördergleises. Beim Tunnelbau sind die verschiedensten Spurweiten vertreten; die am meisten gebräuchlichen liegen zwischen 0,75 und 1,0 m. Am Simplon-Tunnel beträgt die Spurweite 80 cm. In vielen Fällen, namentlich bei allen kürzeren Tunneln, ist man dabei von den für die Herstellung der nächstliegenden Einschnitte gewählten Gleisweiten abhängig, da diese fast immer für den Transport der Tunnelberge mit benutzt werden müssen. Man wird daher nur dann eine besondere Spurweite für den Tunnelbetrieb wählen, wenn die Vorteile einer solchen die Kosten einer besonderen Gleisanlage für den Weitertransport der Berge ausserhalb des Tunnels überwiegen, was mitunter durch Anwendung einer dritten Schiene in dem bestehenden Gleise erleichtert werden kann.

2. Gröfse der Wagen. Wie bei den Erdbewegungen überhaupt, so haben sich auch beim Tunnelbau für gröfsere Förderweiten möglichst grofse Wagen als vorteilhaft erwiesen; und zwar besonders deshalb, weil bei deren Anwendung Betriebsstörungen, wie sie im Tunnel häufig eintreten, weniger fühlbar werden, indem die Zahl der einzelnen Wagenladungen sich im Verhältnis der Gröfse verringert. Man geht dabei bis zu einer Ladefähigkeit von 3 cbm, welches Mafs allerdings wohl als Grenze angesehen werden kann, da über diese Wagengröfse hinaus die Nachteile, die unter anderen in der Erweiterung des Stollenprofils und der kostspieligeren Unterhaltung der Wagen und Gleise bestehen, die Vorteile überwiegen. Wagen von 3 cbm Ladefähigkeit für Vollspur wurden z. B. beim Bau der Tunnel an der Eifelbahn, ferner des Cochemer Tunnels und der Tunnel der Rheinischen Bahn bei Elberfeld benutzt. Ihre Abmessungen sind in den Figuren 10 u. 11, Taf. I angegeben. Im Arlberg-Tunnel wurden Kastenwagen mit 1,5 cbm Fassungsraum verwandt (Fig. 16 u. 17, Taf. I). Auch die Förderwagen am Simplon-Tunnel haben 1,5 cbm Inhalt. Am häufigsten kommen Wagen von 2 cbm Ladefähigkeit zur Verwendung.

Was die Bauart der Wagen anlangt, so dürften im Tunnelbau namentlich mit Rücksicht auf die Förderung der Berge aus dem Sohlenstollen die Kastenwagen den Kippwagen vorzuziehen sein. Jene sind niedriger als diese und lassen sich daher leichter und rascher beladen, auch sind sie fester und dauerhafter und geben wegen ihrer kräf-

<sup>39)</sup> Es handelt sich hier zunächst nur um die Stollenförderung an sich; die Frage: ob First- oder Sohlenstollenbetrieb für einen vorliegenden Tunnelbau zweckmässig ist, kann erst nach Besprechung der verschiedenen Tunnel-Bauweisen erörtert werden.

tigen Bauart weniger als die Kippwagen Veranlassung zu Betriebsstörungen durch plötzliches Unbrauchbarwerden. Das kostspieligere Entladen der Kastenwagen kommt bei der Geringfügigkeit dieser Arbeit gegenüber den angegebenen Vorteilen kaum in Betracht. In Österreich ist man in neuerer Zeit selbst bei offenen Einschnittsbetrieben von der Verwendung von Kippwagen aus den vorangegebenen Gründen fast ganz abgekommen; man benutzt dort bei allen Bodenbewegungen fast nur noch Kastenwagen.

Unter allen Umständen ist großer Wert auf gutes Wagenmaterial zu legen und ist namentlich zu empfehlen, alle Zughaken mit guter Stahlfederung zu versehen. Jeder einzelne Zeitverlust, der im Tunnelbau bei der Förderung durch Schadhafwerden eines Förderwagens entsteht, macht sich für alle Arbeiten fühlbar und kann leicht die Kosten eines erheblichen Mehraufwandes für Beschaffung guter Wagen aufwiegen.

3. Zahl der Gleise. In der Regel findet man beim Tunnelbau den Richtstollen nur mit einem Gleise versehen, obgleich der Mangel eines zweiten Gleises oft zu Betriebsstockungen und Verzögerungen Veranlassung giebt, die sich nicht nur auf den Stollenbau selbst, sondern häufig auch auf die Ausweitungsarbeiten erstrecken. Letzteres tritt in dem wegen der nötigen Arbeitsbeschleunigung nicht seltenen Falle ein, daß die Ausweitung (Ausbruch des ganzen Tunnelraums) aufser den durch die Mundlöcher und etwaige Schächte gegebenen Angriffspunkten noch von anderen Stellen des Richtstollens — sogenannten „Aufbrüchen“ — aus betrieben wird. Die gesamte Förderung von und nach diesen Aufbruchsstellen geht also an den davorliegenden Strecken des Richtstollens vorüber, und wird mithin durch die in demselben stattfindenden Betriebsverzögerungen mit betroffen.

Zur Erläuterung des besprochenen Nachteils für die Förderung möge ein Zahlenbeispiel dienen. Es sei in festem Gestein ein Stollen von 7 qm Querschnitt möglichst rasch herzustellen; der tägliche Fortschritt mag bei Anwendung von Bohrmaschinen  $2\frac{1}{2}$  m, die bereits fertiggestellte Stollenlänge 300 m betragen. Wie bei Besprechung des Maschinenbohrens hervorgehoben, ist es bei möglichster Beschleunigung des Baubetriebes notwendig, alle für die Aussprengung des ganzen Stollenraumes erforderlichen Bohrlöcher in einem Male oder doch in Gruppen unmittelbar nacheinander abzuschiefen. Das dabei gelöste Gestein kann auf 7 cbm gewachsenen Fels oder auf 12 bis 14 cbm lose Masse für das Meter Stollen angenommen werden, die erst zu fördern sind, bevor mit der Bohrarbeit aufs neue begonnen werden kann. Zum Bewegen dieser Masse sind 7 Wagen von 2 cbm Ladefähigkeit notwendig. Wenn im Stollen nur ein Fördergleis vorhanden ist, kann jedesmal nur ein Wagen vor Ort geschoben werden. Bei der angenommenen Stollenlänge von 300 m ist zum Zurückbringen eines beladenen und zum Vorbringen eines leeren Wagens ein Weg von zusammen 600 m Länge zurückzulegen, für den bei Benutzung von Pferden  $\frac{600}{1.25} = 480$  Sekunden = 8 Minuten und mit Hinzurechnung der Aufenthalte beim Wechseln 15 bis 20 Minuten erforderlich sind. Dieser Zeitverlust wiederholt sich in dem angenommenen Falle bei 7 Wagenladungen 6 mal, beträgt also für das Meter Stollenfortschritt 90 bis 120 Minuten und bei  $2\frac{1}{2}$  m täglicher Leistung  $3\frac{3}{4}$  bis 5 Stunden.

Die Anlage eines zweiten Fördergleises im Richtstollen könnte sonach als vorteilhaft erscheinen, und sie wird in der That von mehreren Tunnel-Ingenieuren, wie Lorenz<sup>40)</sup> und Birnbäum<sup>41)</sup> empfohlen, jedoch sind die bisher damit gewonnenen Ergebnisse keineswegs geeignet, der zweigleisigen Stollenförderung eine gröfsere Anwendung in Aussicht zu stellen. Diese hat nämlich andererseits den wesentlichen Nachteil, daß sie entweder die Gröfse der Förderwagen erheblich beschränkt oder eine Erweiterung des Stollenraums notwendig macht. Das erstere widerspricht den oben bezeichneten Erfahrungen, das letztere erschwert und verteuert den etwa erforderlichen Stollenausbau,

<sup>40)</sup> Die Förderung bei Tunnelbauten. Zürich 1876.

<sup>41)</sup> Zeitschr. d. Arch- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878.

macht außerdem das Gebirge unruhig; beides hat Verzögerungen im Gefolge, die den durch die Anlage zweier Gleise erreichten Vorteil der beschleunigten Förderung mindestens zum Teil, in der Regel wohl gänzlich aufheben oder gar überwiegen.

Allerdings lassen sich lange Wagen bauen, die bei ausreichender Ladefähigkeit die Anwendung zweier Gleise ermöglichen, ohne gerade einen aufsergewöhnlich großen Stollenraum erforderlich zu machen. Derartige Wagen erhalten aber ungewöhnliche Abmessungen, die deren allgemeine Anwendbarkeit beeinträchtigen und somit die Beschaffungs- und Tilgungskosten vermehren. Ein Versuch, mit Hilfe solcher besonders gebauter Wagen eine zweigleisige Stollenförderung beim Bau des Ender Tunnels einzuführen, hatte keinen dauernden Erfolg, weil bei dem druckhaften Gebirge nachträgliche Hilfseinbauten in dem Stollen notwendig wurden, die das Befahren beider Gleise zeitweise unmöglich machten. Die dort benutzten Wagen (Fig. 12 u. 13, Taf. I) waren bei einer Ladefähigkeit von 2 cbm im Kasten einschließlic der Wandungen nur 1,1 m breit, aber 2,92 m lang und 0,8 m hoch. Ihre Spurweite betrug 0,9 m, der Zwischenraum zwischen den Stollenwänden und den Wagenkasten, sowie zwischen diesen selbst war nur auf je 20 cm bemessen, sodafs der Stollen eine lichte Weite von nur 2,8 m erhielt, bei einer lichten Höhe von 2,4 m. Der Ausbruchsraum hatte eine Gröfse von 9,2 qm. Um die zweigleisige Förderung aufrecht erhalten zu können, würde wegen der nötig gewordenen Hilfshölzer zwischen den Wagen ein Raum von 0,4 m erforderlich gewesen sein, sodafs die lichte Stollenweite 3 m hätte betragen müssen. — Es sei noch bemerkt, dafs der Preis der Wagen sich für das Stück einschließlic Bremse für beide Räderpaare auf 460 M. belief.

Bei dem im Bau begriffenen Simplon-Tunnel, bei dem im wesentlichen aus Gründen der besseren Lüftung gleichzeitig mit dem eigentlichen Tunnelrichtstollen ein Parallelstollen, der dem später herzustellenden Tunnel für das zweite Gleis als Sohlenstollen dient, von vornherein mit zur Ausführung kommt und der mit ersterem durch Querstollen verbunden wird, ergab sich hierdurch von selbst die Möglichkeit einer zweigleisigen Förderbahn (s. Fig. 114, S. 136). Die Förderwagen benutzen für die Einfahrt den Parallelstollen, für die Ausfahrt den Tunnelrichtstollen; die Bewegungsrichtung stimmt hierbei mit derjenigen des Be- und Entlüftungsstromes überein. Eine derartige kostspielige Anlage ist selbstverständlich nur unter so eigenartigen Bedingungen, wie sie am Simplon vorliegen, möglich.

Der oben hervorgehobene Nachteil der eingleisigen Stollenförderung tritt übrigens nur bei rasch herzustellenden Tunneln hervor und kann auch hier durch Einschaltung einzelner Ausweichstellen, deren Anzahl und Anordnung wesentlich von der Länge des voreilenden Stollens abhängt, beschränkt werden. Die dafür erforderlichen Erweiterungen des Stollenraums werden entweder gleich bei der Herstellung des Richtstollens oder auch nachträglich ausgebrochen. Außerdem versteht es sich von selbst, dafs man in den Tunnelausweitungen, sobald der gewonnene Raum dies gestattet, ein zweites und nötigenfalls ein drittes Gleis einbaut und diese Gleise dem Fortschritte der Tunnelarbeiten entsprechend verlängert, um die eingleisige Förderlänge möglichst abzukürzen. Diese Hilfsmittel haben sich bei den unter gewöhnlichen Verhältnissen zu bauenden Tunneln als ausreichend bewährt.

4. Besondere Fördereinrichtungen vor Ort. In den Fällen, wo zur rascheren Herstellung des Tunneln der Richtstollen mit Hilfe von Maschinenbohrung aufgefahren wird, sucht man sich bezüglich der Förderung vor Ort des Richtstollens noch in anderer Weise zu helfen.

In erster Linie ist hier die Fördereinrichtung zu nennen, die beim Bau des Cochemer Tunnels vor Ort des Sohlenstollens getroffen war.<sup>42)</sup> Die Abmessungen des Stollens, sowie der Vorgang bei der Sprengarbeit sind in § 37, S. 112 bereits angegeben.

Die nach jedem Abschiesfen gelöste Masse betrug 15 bis 20 cbm, die erst vollständig fortzuräumen war, bevor mit der Bohrarbeit aufs neue begonnen werden konnte. Die eingleisige Stollenbahn hatte Vollspur und die Förderwagen hatten bei einem Kasten von 4 m Länge, 1,6 m Breite und 0,45 m Höhe einen Fassungsraum von rund 3 cbm, sodafs 5 bis 7 Wagen notwendig waren, um die jedesmaligen Gebirgsmassen fortzuschaffen. Das Beladen dieser Wagen geschah nicht unmittelbar vor Ort, sondern mit Hilfe einer sinnreichen Zwischenförderung in einer Entfernung von 100 bis 300 m vom Stollenort, sodafs das Bohrmaschinengestell zwischen den Wagenreihen und dem Stollenort auf dem Gleise stehen bleiben konnte. Zu diesem Zwecke war an der Ladestelle auf eine Länge von rund 60 m über dem Sohlenstollen mittels eines geneigten Aufbruches ein Firststollen hergestellt (s. Fig. 1 bis 5, Taf. I), und dieser mit dem Stollenort durch zwei Fördergleise mit 0,61 m Spurweite, die im Sohlenstollen durch zwei in das Normalgleis eingelegte Schienen gebildet wurden, verbunden. Der Anschluß dieser Doppelgleise aus dem Firststollen in den Sohlenstollen wurde durch eine Klappbühne, deren Drehpunkt in der First des Sohlenstollens lag, vermittelt; sie konnte durch eine einfache Windevorrichtung gehoben und gesenkt werden.

War vor Stollenort die Bohrarbeit beendet, dann wurde das Bohrgestell und mit diesem der die Ersatz-Bohrwerkzeuge tragende Wagen bis hinter die Klappbühne, wo bereits die großen Förderwagen aufgestellt waren, zurückgeschoben, die Bühne niedergelassen und nach geschehenem Abschiesfen mit der Förderung begonnen. Zu diesem Zweck wurden aus dem Firststollen auf den Schmalspurbahnen kleine Förderwagen von 0,65 cbm Ladefähigkeit mit einem Kasten von 1,2 m Länge, 0,6 m Breite und 0,9 m Tiefe, wie sie in Kohlengruben üblich sind, vorgeschoben, beladen und durch Schlepper bis an die Klappbühne geschoben. Hier wurden sie an ein Drahtseil gehängt und mit Hilfe einer durch Druckluft betriebenen Aufzugsvorrichtung *b* in den Firststollen befördert, wo sie mittels eines Selbstkippers *c* durch ein Rolloch *d* die geladenen Berge in die darunter aufgestellten großen Wagen entleerten.

Zum Überschieben der kleinen Wagen aus einem Gleise in das andere dienten aus gußeisernen Platten hergestellte Wendeplätze, die sowohl im Firststollen vor dem Selbstkipper, als auch im Sohlenstollen in der Nähe der Klappbühne eingerichtet waren. Das Beladen der Hauptwagen ging auf diese Weise sehr rasch von statten. 22 Förderleute gebrauchten dazu mit Benutzung von 12 kleinen Wagen 2 bis 2½ Stunden. War das Stollenort soweit vorgeschritten, dafs seine Entfernung von der Klappbühne rund 300 m betrug, so wurde die beschriebene Einrichtung etwa 100 m vor Ort neu hergestellt.

Ein Beispiel für eine besondere Stollenortförderung anderer Art bietet der Betrieb im Firststollen des St. Gotthard-Tunnels<sup>43)</sup> (Fig. 6 bis 9, Taf. I). Die nach jedesmaligem Abschiesfen fortzuschaffenden losen Gesteinsmassen betragen 8 bis 10 cbm, wozu 6 bis 7 Wagen von je 1,5 cbm Ladefähigkeit erforderlich waren. Behufs Beladens wurden diese Wagen 20 bis 30 m vom Ort rückwärts auf dem 1 m Spurweite haltenden Fördergleise, hinter dem Bohr- und Gerätewagen aufgestellt. Das Beladen geschah hier

<sup>42)</sup> Birnbaum. Einiges über Förderung bei Tunnelbauten. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878. — Lengeling. Die Maschinenbohrarbeiten im Cochemer Tunnel. Deutsche Bauz. 1877, S. 169.

<sup>43)</sup> Dolezalek. Firststollenbetrieb im St. Gotthard-Tunnel. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878.

mit Hilfe eines schmalen und niedrigen, äußerst leicht gebauten Wagens von 3,2 m Länge. Dieser wurde auf einem schmalen Gleise mit 0,31 m Spurweite bewegt, das aus Grubenschienen neben dem eigentlichen Fördergleise in einer Länge von 70 m bis unmittelbar vor Ort hergestellt war. Die gelösten Berge wurden vor Ort in Körbe eingeladen und diese sodann zu je 16 Stück mit zusammen 0,3 cbm Inhalt auf den niedrigen Wagen gesetzt. Dieser wurde darauf an einem Zugseile mit der Hand bis an den augenblicklich zu beladenden Wagen des Fördergleises gezogen und der Inhalt der Körbe nunmehr in diesen ausgestürzt. Um hierbei Platz für die Arbeiter zu gewinnen, schob man die Förderwagen nicht dicht zusammen, sondern liefs zwischen je zwei zu beladenden Wagen einen Zwischenraum von der Länge des kleinen Wagens. Dieser ging sodann mit den leeren Körben unter Anwendung eines zweiten Zugseiles wieder vor Ort, um andere, inzwischen gefüllte Körbe aufzunehmen. Auf diese Weise geschah das Laden der gelösten Massen von 18 Mann in einer Zeit von 2 $\frac{1}{2}$  bis 3 Stunden, worauf sofort die Bohrmaschinen ihre Arbeit wieder aufnehmen konnten.

Später ist man am Gotthard-Tunnel von dem beschriebenen Verfahren abgegangen; man verwendete dort schliesslich zum Beladen der Förderwagen, um die dazu erforderliche Zeit noch mehr abzukürzen, eine von Arbeitern gebildete, um sämtliche Förderwagen herumreichende lebende Kette, in welcher die gefüllten und entleerten Körbe von Hand zu Hand wanderten. Freilich wurde dadurch das Laden wesentlich verteuert.

Fig. 112 u. 113. Förderwagen im Tunnelbau bei Marienthal.

Fig. 112.

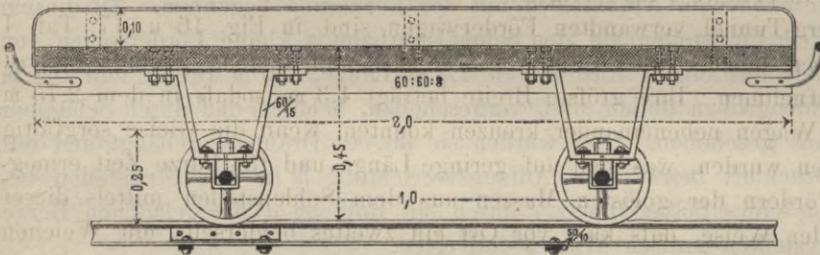
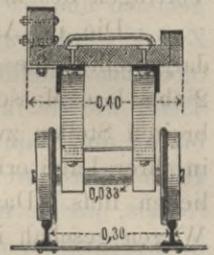


Fig. 113.



In ähnlicher Weise wie am Gotthard-Tunnel geschah das Beladen der für 90 cm Spur bemessenen Förderwagen mit den vor Ort im Richtstollen gelösten Bergen im Tunnel bei Marienthal, vergl. § 37. Auch hier wurden für diesen Zweck kleine Gefässe, hier Fülltröge, benutzt, die auf kleinen Plattwagen (s. Fig. 112 u. 113) an die Förderwagen herangefahren wurden. Es waren aber statt eines Plattwagens deren zwei in Betrieb, die auf zwei schmalen Gleisen mit 30 cm Spurweite derartig bewegt wurden, dass, wenn die Fülltröge von dem einen Plattwagen in die Förderwagen ausgestürzt wurden, der andere sich vor Ort befand, um mit frisch gefüllten Fülltrögen beladen zu werden. Auf diese Weise wurden die am Gotthard durch das Entladen der Füllkörbe eintretenden Pausen vermieden, es gingen vielmehr die Aufräumarbeiten ununterbrochen vor sich. Dabei waren 6 Schlepper thätig, von denen 3 die Berge in die Tröge einfüllten, einer die leeren Tröge von dem Plattwagen fortnahm und zum Füllen bereit stellte, sowie die gefüllten Tröge auf den Plattwagen aufsetzte, während zwei die Fülltröge in die grossen Wagen auskippten.

Diese in Fig. 18 bis 20, Taf. I veranschaulichte Ortförderung hat sich gut bewährt. Das kleine Doppelgleis, auf dem sich die Plattwagen bewegten, war aus leichten

Grubenschienen gebildet, die in Längen von 3 m auf Flacheisen aufgenietet waren und sich leicht handhaben ließen.

Im Richtstollen des Brandleite-Tunnels wurden die vor Ort gelösten Berge in kleinen Hunden auf zwei schmalen Gleisen zunächst auf geringe Entfernungen bewegt und seitlich im Stollen abgelagert, von wo sie später während der Bohrarbeit mittels Schaufel in die Transportwagen eingeladen wurden, siehe § 38, S. 121.

Die verschiedenen oben beschriebenen Arten der Ortförderung weisen darauf hin, daß es im Falle einer mit Maschinen betriebenen und möglichst zu beschleunigenden Stollenarbeit zweckmäßig ist, die Förderung vor Ort auf kurze Längen nach anderen Grundsätzen zu regeln, als da, wo sie den Zweck hat, die gelösten Berge aus dem Tunnel auf größere Entfernungen zu Tage zu schaffen. Während für letztere möglichst große Wagen zu verwenden sind, geschieht die Förderung vor Ort auf kurze Längen zweckmäßig in kleinen Gefäßen, welche die Anwendung zweier und mehrerer Gleise in dem kleinsten vorkommenden Stollenraum gestatten und sich leicht handhaben lassen. Auf diese Weise werden die Vorteile des eingleisigen Stollens mit den Vorteilen eines doppelgleisigen Betriebes vereinigt und dabei die beiderseitigen Nachteile auf das kleinste Maß verringert.

Von besonderem Interesse sind noch die Ortförderungen im Richtstollen des Arlberg-Tunnels, weil dort Fortschritte erzielt sind, wie sie noch nirgends erreicht wurden. Bezüglich der Westseite des Tunnels verweisen wir auf § 38 der vorliegenden Arbeit; das auf der Ostseite beobachtete Verfahren bei der Förderung der Berge vor Ort soll nachstehend beschrieben werden, wobei wir den Ausführungen in den bereits erwähnten Vorträgen des k. k. Inspektors Plate folgen:

Die im Arlberg-Tunnel verwandten Förderwagen sind in Fig. 16 u. 17, Taf. I dargestellt. Sie haben einen Kastenraum von 1,5 cbm und können gehäuft nahezu 2 cbm lose Masse aufnehmen. Ihre größte Breite beträgt 1,3 m, sodaß in dem 2,75 m breiten Stollen zwei Wagen nebeneinander kreuzen konnten, wenn die Gleise sorgfältig in ihrer Lage erhalten wurden, was sich auf geringe Länge und für kurze Zeit ermöglichen ließe. Das Fördern der gelösten Massen aus dem Sohlenstollen mittels dieser Wagen geschah in der Weise, daß kurz vor Ort ein zweites beiderseits mit Weichen eingebundenes Gleis gelegt wurde, indem auf dieser Strecke das sonst fast in der Mitte liegende, durchlaufende Gleis etwas zur Seite geschoben ward. Dieses Seitengleis war so lang, daß 10 bis 12 Wagen Aufstellung finden konnten, ohne den Verkehr auf dem Hauptgleise zu stören.

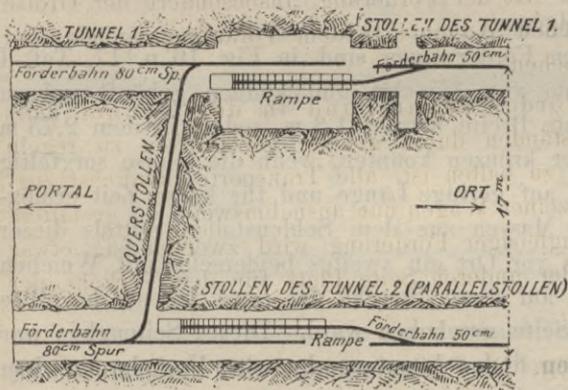
Die Aufstellung der leeren Wagen auf dem Ausweichegleis fand während der Bohrzeit statt; sofort nach vollendeter Bohrung wurde der Bohrwagen auf dem Hauptgleise zurückgeschoben und es wurden die leeren Wagen durch die vordere Weiche vor dieselbe gestellt, wodurch das Ausweichegleis wieder frei ward. Nach dem Schießen wurde dann ein Wagen nach dem andern vor Ort geschoben, geladen und in das Ausweichegleis zurückgestellt. Das Fördergleis wurde nach jeder zweiten oder dritten Bohrung bis vor Ort verlängert, sodaß die Entfernung der Ausweiche vom Stollenort beständig zunahm. Wenn sie mehr als 100 m erreicht hatte, wurde so nahe als möglich, d. h. ungefähr 10 m vor Ort, eine neue Weiche eingelegt und nach deren Vollendung die alte beseitigt. Die dadurch hervorgerufenen Oberbauarbeiten wurden während der Bohrzeit vorgenommen und mußten derart geregelt sein, daß das Hauptgleis stets wieder benutzbar war, sobald die Ladezeit begann. Zur Erreichung dieses Zweckes verwandte die Unternehmung für die Weichen ein stofsweise zusammengebautes Gleis, dessen Schienen

mit zugehörigen eisernen Schwellen zu tragbaren, stets genau wieder passenden Rahmenstücken verbunden waren. Auch wurden im Stollen nur Schienen von genau gleicher Länge verwendet. Das Verladen der gelösten Berge in die Wagen geschah mittels Fülltrögen aus Blech, deren Länge 0,50 m bei 0,36 m Breite und 0,10 m Ausbauchung in der Mitte betrug.

Eine „Schutterpartie“ bestand aus 7 Mann; die Stollenbreite genügte, daß 3 Mann, ohne sich gegenseitig zu hindern, vor dem Wagen ihre Körbe füllen konnten; jeder von diesen hatte seinen Hintermann, der den gefüllten Korb abnahm, wenn notwendig die wenigen Schritte bis zum rückwärtigen Teil des Wagens zurückging und den Korb entleerte. Der siebente Mann suchte inzwischen die zwischen das Gleis gefallen oder die von der letzten Schutterung seitlich liegen gebliebenen Steine zusammen und diente erforderlichenfalls als Ersatz. Zur Füllung eines gehäuften Wagens, somit 2 cbm loser Masse, benötigten diese 7 Mann 13 bis 14 Minuten, dazu je nach wechselnder Entfernung der Weiche zur Rückschiebung des vollen und Herbeiholung eines neuen Wagens 2 bis 4 Minuten. Es betrug demnach die durchschnittliche reine Schutterzeit eines Bohrangriffs (7 bis 8 Wagen)  $1\frac{3}{4}$  bis 2 Stunden. Diese Arbeit erforderte kräftige und gesunde Leute, da mit der Bewältigung solcher Massen in so kurzer Zeit ganz aufsergewöhnliche körperliche Anstrengungen verbunden sind.

Beim Simplon-Tunnel<sup>44)</sup> (z. Z. im Bau) erfolgt an der Nordseite die Förderung vor Ort in der Weise, daß auf einem schmalen sogenannten Schuttergleise von nur

Fig. 114. Fördergleise beim Simplon-Tunnel.



50 cm Spurweite kleine leichte Schutterwagen, nachdem der auf demselben Gleise fahrende Bohrwagen bis an dessen Ende zurückgezogen ist, vor Ort gebracht und beladen werden. Um das Aufladen der gelösten Berge mit eisernen Mulden möglichst zu erleichtern, wird die Stollensohle vor Ort vor dem Abschleusen mit Blechplatten belegt. Das Schuttergleis, das neben dem Fördergleise von 80 cm Spur endet (s. Fig. 114), steigt auf einer Rampe bis zur Höhe der auf letzterem aufgestellten Plattformwagen an.

Die Schutterwagen können durch eine Drehung um 90° leicht auf die Plattformwagen, von denen jeder fünf Schutterwagen aufzunehmen vermag, gebracht und so zunächst mit Pferden und dann im Arbeitszug mit Lokomotiven aus dem Tunnel geschafft und draussen in größere Wagen gekippt werden.

Um die Förderleistung noch mehr zu steigern, hat der kürzlich verstorbene Ingenieur Brandt eine weitere Vorrichtung ersonnen, die bezweckt, die im Augenblick des Sprengens gelösten Gesteinsmassen auf eine größere Länge zu verteilen und das Gleis frei zu spülen, um nach der erfolgten Sprengung den Bohrwagen möglichst bald wieder vorfahren und die Bohrmaschinen wieder in Gang setzen zu können.

Diese Einrichtung, von Brandt „Schutterkanone“ genannt, besteht aus einem 144 m langen und 20 bis 25 cm weiten, mit Prefsluft von etwa 80 Atm. gefüllten Rohre, an das ein Rohr von 96 m Länge, in dem sich Wasser befindet, mittels einer Verschlussvorrichtung anschliesst. Das Wasserrohr

<sup>44)</sup> Dolezalek. Der Simplon-Tunnel. Deutsche Bauz. 1899, S. 545.

endet mit einem Verschluss, der einen kürzeren oder längeren Rohransatz mit durchlochem Kopf erhält, der vor Ort auf der Stollensohle liegt. Während der Sprengung, die in diesem Falle elektrisch zu erfolgen hat, wird die im zweiten Rohre befindliche Wassermenge (bei 20 cm Rohrdurchmesser etwa 3 cbm) nach Öffnung der Verschlüsse mit Hilfe der Prefsluft durch das Ansatzrohr und den durchlochtem Kopf getrieben, und hierdurch der Schutt zurückgeworfen und verteilt. Die Prefsluft dehnt sich im vorliegenden Falle bis auf etwa  $80 \cdot \frac{144}{144 + 96} = 48$  Atm. aus.

Das Austreten der Prefsluft am Ende des Wasserrohres wird durch einen dort angebrachten selbstthätigen Verschluss gehindert. Wird sodann das Wasserrohr mit dem der Druckleitung zu entnehmenden Wasser von etwa 80 Atm. Spannung wieder gefüllt, so wird hierdurch die Luft im ersten Rohre wieder bis auf 80 Atm. zusammengedrückt und der Apparat steht zum nächsten Angriff bereit. Die jedesmalige erste Füllung des Luftrohres (bis auf etwa 48 Atm.) geschieht mittels einer kleinen Druckluftpumpe. Nach Maßgabe des Stollenfortschrittes wird der etwa 250 m lange Apparat zu verschieben sein.

„Brandt war der Ansicht, dass eine Störung der Zündleitungen und daher der Sprengung durch die kräftigen Wasserstrahlen nicht eintreten, dass das Verschieben des Apparates wenig umständlich sein und rasch von statten gehen wird; dass ferner die ausgeworfenen Wassermengen eine Niederschlagung der Sprenggase und eine Abkühlung des Stollens veranlassen werden, und die hierdurch bedingte Erhöhung der Luftfeuchtigkeit nur gering sein, daher auch im warmen Tunnel keine unangenehmen Folgen haben dürfte.“

Ob die vorbeschriebene Einrichtung, die bisher versuchsweise außerhalb des Tunnels aufgestellt war, die erhoffte Wirkung haben wird, bleibt abzuwarten.

5. Die Größe des Stollenprofils wechselt zwischen 5 und höchstens 10 qm, nämlich im Lichten 2 bis 2½ m hoch und 2½ bis 3 m weit, und richtet sich in jedem einzelnen Falle nach der gegebenen Bauzeit, nach der Lösbarkeit des Gebirges und nach der in Rücksicht auf beide festgestellten Art der Förderung, insbesondere der Größe der gewählten oder etwa schon vorhandenen Wagen. In dem Voraufgegangenen sind die dafür maßgebenden Umstände besprochen.

Bezüglich des Betriebes der Förderung aus und in den Tunnel muss betont werden, dass er unter allen Umständen durch genaue Vorschriften zu regeln und dass hierbei im allgemeinen darauf zu halten ist, alle Transporte thunlichst zugewise zu bewirken, d. h. den Verkehr einzelner Wagen nur ausnahmsweise zu gestatten. Die Lage des Gleises im Stollen bei eingleisiger Förderung wird zweckmäßig etwas seitwärts der Mitte angeordnet, um auf der anderen Seite Platz für den Verkehr der Arbeiter zu gewinnen.

**§ 43. Motoren und ihre Leistungen.** Die Stollenförderung wird durch Menschen, Pferde oder Maschinen bewirkt. Die Förderung durch Menschen eignet sich nur für ganz geringe Transportlängen und bleibt daher bei größeren Tunnelbauten in der Regel auf die Heranbringung der gelösten Massen von der Gewinnungsstelle bis zu den größeren Fördergefäßen beschränkt, wie solche namentlich vor Ort (s. oben) von Bedeutung werden kann. Es werden dabei Fülltröge, Handkarren oder besondere kleine Wagen benutzt. Bei der Förderung mit gewöhnlichen Tunnelwagen stellt sich schon bei Förderweiten von 50 bis 100 m die Verwendung von Pferden als vorteilhafter heraus und man findet heute in der That bei den Tunnelbauten von nicht etwa ganz geringer Länge die Wagenförderung mit Pferdebetrieb allgemein verbreitet.

Bei Tunneln von mehreren Kilometern Länge wird zur Erzielung eines raschen Baufortschrittes Lokomotivbetrieb erforderlich. Beim Gotthard-Tunnel wurden mit Druckluft getriebene Lokomotiven benutzt, wobei die Luft in langen dampfkesselartigen Tendern mitgeführt ward. Auf diese Weise konnte die Lokomotivförderung, ohne schädliche Gase in den Tunnel einzuführen, beliebig weit in den Berg vorgeschoben werden; es

trug sogar die ausströmende Luft zur Lüftung bei, wenn auch nur in geringem Grade, da die Luft aus den Lokomotiven an Stellen austrat, wo sie nicht sehr notwendig ist, nämlich in den fertigen Tunnelteilen. Bei der großen Länge des Gotthard-Tunnels hatte man weiter im Innern einen Sammelbehälter für Druckluft zur nochmaligen Speisung der Lokomotiven — eine Luftstation — angelegt, um die Länge und das tote Gewicht der Lufttender nicht zu groß nehmen zu müssen.

Zum Pressen der Luft auf 10 bis 12 Atmosphären für den Betrieb der Luftlokomotiven ist indessen ein so bedeutender Kraftaufwand erforderlich, daß die Verwendung solcher Lokomotiven zur Förderung bei Tunnelbauten nur in seltenen Fällen und nur da möglich ist, wo genügende motorische Kräfte zur Verfügung stehen. Die heutige Technik weist billigere und geeignetere Mittel auf, so namentlich elektrische Maschinen.

Bei derartigen für einen Tunnelbau besonders zu beschaffenden Maschinen ist es zweckmäßig, deren Abmessungen so zu bemessen, daß man mit ihnen nicht nur den fertigen Tunnelteil, sondern auch den Sohlenstollen befahren kann, womit der Pferde-transport ganz vermieden werden kann.

Beim Bau des Arlberg-Tunnels benutzte man Dampflokomotiven, die von Kraufs in München besonders für diesen Zweck gebaut waren. Sie erhielten einen ungewöhnlich großen Dampfkessel mit tiefliegender Feuerbüchse, die ein bedeutendes Fallen des Wasserstandes zuließ, ohne diese bloßzulegen. Sie waren ferner mit einem durch zwei Züge verstellbaren Blasrohre ausgerüstet, von denen der eine Zug dazu diente, den Abdampf zum Anfachen des Feuers verwendbar zu machen, zu welchem Zweck das Blasrohr einen ringförmigen Querschnitt erhalten hatte. Mittels des zweiten Zuges konnte der Dampf in das Speisewasser geleitet werden; auch konnte der Abdampf durch ein neben dem Kanale angebrachtes Rohr direkt ins Freie entweichen.

Mit diesen Lokomotiven war es möglich, den fertigen Tunnelteil zu befahren, ohne Dampf und ohne eine erhebliche Menge Rauch in den Tunnel einzuführen. Vor der Einfahrt in denselben wurde die Dampfspannung auf 15 Atmosphären gebracht und der Rost mit Koaks beschickt, sodafs er mit einem hell durchgebrannten Feuer bedeckt war und die Aschenklappe geschlossen werden konnte. So lange sich die Lokomotive im Tunnel befand, erfolgte keine Nachfeuerung. Nach der Rückkehr aus dem Tunnel wurde das verdampfte Wasser durch Ingangsetzung der Injektoren ersetzt und die Dampfspannung durch Nachfeuerung wieder auf 15 Atmosphären gebracht, um auf diese Weise für die nächste Tunnelfahrt gerüstet zu sein.<sup>45)</sup>

Bei Tunneln von minder großer Länge, die mit guter Lüftung versehen sind, verwendet man auch zur möglichsten Abkürzung der mit Pferden zu betreibenden Förderstrecken gewöhnliche Dampflokomotiven, die man soweit in die fertigen Tunnelstrecken fahren läßt, als dadurch die Arbeitsstellen durch den Rauch und Dampf nicht übermäßig belästigt werden. So geschah dies beim Bau des 4600 m langen Cochemer Tunnels und beim Bau des 1040 m langen Tunnels bei Mariantal (Westerwald), wodurch der Pferdebetrieb auf eine Länge von 500 bis 700 m beschränkt werden konnte.

An dieser Stelle mag der sogenannten Stangenförderung gedacht werden, die am Arlberg-Tunnel auf der Ostseite gegen Ende des Baues zur Anwendung gekommen ist.

Der Neigungs-Brechpunkt liegt bei dem Arlberg-Tunnel nicht in der Mitte. Auf der Ostseite ist die mit 2/100 ansteigende Tunnelstrecke 4100 m lang, auf der Westseite

<sup>45)</sup> Gustav Plate. Vier Vorträge über den Arlberg-Tunnel. Wien. — Einzelheiten über „feuerlose Lokomotiven“ sind aus den auf S. 216 vermerkten Abhandlungen zu entnehmen.

beträgt dagegen die Länge der Steigung von  $15^0/00$  6170 m. Unter diesen Umständen mußte auf der Ostseite bei einem auf beiden Seiten ziemlich gleichmäßigen Fortschreiten der Arbeiten einmal der Zeitpunkt eintreten, wo die Tunnelarbeiten über den Neigungs-Brechpunkt hinausreichten, sodafs hier die gelösten Berge und die leeren Materialwagen in der erheblichen Steigung von  $15^0/00$  befördert werden mußten. Wir folgen hier weiter den Anführungen eines Aufsatzes von Fr. v. Rziha:<sup>46)</sup>

„Bei dem durchschnittlichen Tunnelfortschritte von 5,5 m pro Tag waren die Transporte sehr bedeutend. Es waren dazu 10 einfahrende und 10 ausfahrende Züge von je 75 Wagen erforderlich. Der einfahrende Zug bestand im Durchschnitt aus 48 leeren Bergewagen, 20 beladenen Steinwagen, 5 Wagen, die mit Holz, Lehrgerüsten, Schienen, Geräten, Cement u. s. w. beladen waren und aus 2 Wagen mit geschärften Bohrern, von denen in 24 Stunden etwa 3000 zur Schärfung gelangten. Der ausfahrende Zug bestand aus 48 beladenen Bergewagen mit 2 cbm losem Material, aus 20 leeren Steinwagen, und 5 teilweise mit unbrauchbarem Holzwerk, leeren Fässern, Geräten u. s. w. beladenen Wagen und endlich aus 2 Wagen mit Bohrern, die zur Schärfung ausgefahren werden mußten.“ Die Züge waren 262,5 m lang; der einfahrende Zug hatte ein Gewicht von 129000 kg, der ausfahrende ein solches von 230000 kg.

Diese bedeutenden Transporte auf der stark geneigten Strecke hinter dem Brechpunkte zwischen dem Stollenort und den zahlreichen übrigen Baustellen bis zu der Tunnelstation im fertigen Tunnel, bis wohin nur die Lokomotiven fahren konnten, zu bewältigen, war eine sehr schwierige Aufgabe. Vor allem mußte darauf verzichtet werden, den Rampenbetrieb mit Menschenkraft oder mit Pferden zu bewerkstelligen. Ein voller Bergewagen würde zur Beförderung auf der Steigung von  $15^0/00$  eine Anzahl von  $\frac{4 \cdot 2 (7 + 15)}{11}$  = rund 8 Menschen, ein leerer Steinwagen 2 Mann, ein halb beladener Holzwagen 3 Mann, ein Wagen mit Bohrgeräten 4 Mann, der ganze Zug also 447 Schlepper erforderlich gemacht haben. Dabei würden die Leute die Fahrt in der ganzen Länge nicht haben aushalten können, also einer Ablösung bedürftig haben, sodafs unter 900 bis 1000 Schleppern für die Schicht die Arbeit gar nicht durchführbar gewesen wäre, ganz abgesehen von der Langsamkeit der Bewegung. An Pferden würden  $\frac{447}{6}$  = 75 und mit Wechsel, sowie unter Berücksichtigung des Krankenstandes an 200 Stück nötig geworden sein. Diesen Muskelapparat noch in die Baustelle gleichsam hineinzupropfen, schien von vornherein ebenso unpraktisch wie unzureichend, zumal Pferde gar keinen Platz für die Bewegung gehabt und die Tunnelluft verpestet haben würden.“

Nach verschiedenen aufgetauchten Entwürfen, welche sich als unzweckmäfsig erwiesen, ging der Unternehmer Coesni schliesslich dazu über, ein langes Gestänge herzustellen, welches von der Lokomotivstation im fertigen Tunnel bis vor Stollenort reichte, sodafs mit Hilfe desselben die Wagenzüge durch die Lokomotiven in den Stollen hineingebracht und wieder herausgeholt werden konnten.

„Das Fördergestänge bestand, wie es die Zeichnungen Fig. 14 u. 15, Taf. I darstellen, aus einzelnen Stangen von 7,6 m Länge und 12 auf 21 cm Querschnitt, je eine einzelne Stange war zwischen zwei kleinen vierräderigen Wagen derart gelagert, dafs ihr Herabfallen durch eiserne, an den Stangenenden angeschraubte Flachschiene verhindert wurde. Diese Flacheisen schoben sich durch eine Öse, welche auf dem Wagenende befestigt war. Die Wagen waren mit den Stangen durch Zugketten gekuppelt. Zog die Lokomotive an, so gestatteten jene Flacheisen, die wir „Schiebeeisen“ nennen wollen, ein Auseinandergehen der Stangen bis zum Eintritte der Wirksamkeit der Kuppelketten, und das ganze, durch die Wagen getragene Gestänge setzte sich in Bewegung. Stiefs die Lokomotive, so wirkten die einzelnen Stangen als verlängerte Puffer. Das fahrbare Gestänge wurde also abwechselnd auf Zug und Druck in Anspruch genommen und dabei sein Widerstand in Wagenreibung verwandelt, welche bekanntlich weit geringer ist, als die Rollenreibung einer Seil- oder Kettenförderung. Dieses Gestänge wurde nun, wie Fig. 14 übersichtlich darstellt, in die Baulänge hineingeschoben, der ausfahrende Wagenzug wird angehängt und die Lokomotiven holen den ganzen Zug heraus.“

Zum Herausziehen des beladenen Wagenzuges und des Gestänges, welches im Jahre 1883 eine Länge von 1070 m hatte, waren 3 Kraufs'sche Lokomotiven nötig. Dieselben entwickelten bei 13 Atmosphären Überdruck eine Zugkraft von 5910 kg.

„Die ganze Förderung war seit dem 10. Juni 1883 in Thätigkeit und wickelte sich in folgender Weise ab. Nach dem Entladen und Beladen eines in der Baulänge verteilten leeren Zuges wurden alle mit sehr praktischen Hebelbremsen versehenen Wagen zunächst hinab, bis vor Ort gefahren, also selbstthätig bewegt und dort zusammengekuppelt. Nun schob eine Lokomotive das auf dem Gleise zwischen

<sup>46)</sup> v. Rziha. Die Stangenförderung im Arlberg-Tunnel. Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 406 bis 409.

Weiche II und IV (Fig. 15, Taf. I) bereitstehende „Gestänge“ in den Bau hinein und der vor Ort stehende, zum Ausfahren bestimmte Wagenzug wurde an dasselbe angekuppelt. Unterdessen brachten zwei andere Lokomotiven den neu einfahrenden Zug vom Tage bis zur Tunnelstation und stellten ihn auf das Gleis III I. Während dieser Fahrt hatte die erstgenannte Maschine das Gestänge in den Bau eingeschoben und die Weiche I durchfahren. Nun setzten sich die zwei letztgenannten Lokomotiven hinter diese Maschine und alle drei Maschinen wurden jetzt gekuppelt. Sodann begann die Ausfahrt des ganzen, einschliesslich des Gestänges gegen 1400 m langen und 400 Achsen haltenden Zuges — gewiss des längsten seit dem Bestehen der Eisenbahnen. Die Maschinen fuhren nun über das Gleise I II IV und stellten den „vollen Zug“ zwischen die Weichen I und II und das „Gestänge“ zwischen die Weichen II und IV. Eine der drei Lokomotiven fuhr alsdann leer zu Tage, und die beiden anderen kehrten durch die Weiche IV und die Weichen III und II zum „vollen Zuge“ zurück und fuhren mit demselben zu Tage. Die mit dem vollen Zuge aus dem Bau herausgeführten Bremser übernahmen nunmehr den einfahrenden, auf der Weiche I III stehenden, sogenannten „leeren“ Zug und fuhren ihn mit angezogenen Bremsen in einzelnen Wagengruppen die Rampe hinab, wobei dann die entsprechenden Zugteile in demjenigen Ringe des Tunnelbaues, für den sie bestimmt waren, stehen blieben, um diesen zu bedienen. Das Gleis I II war etwa 300 m, jenes zwischen Weiche II IV gegen 1200 m lang. Die notwendige Pünktlichkeit der ganzen Förderung in dem dunklen Raume wurde erreicht: 1. durch die oben erwähnte Fahrordnung; 2. durch farbige Distanzsignale und 3. durch Hornsignale. Es waren nämlich auf dem Gestänge 10 bis 11 Hornisten verteilt, welche einander vier akustische Signale mit grosser Kunstfertigkeit zubliesen und dadurch den drei Lokomotivführern das jeweilige Bedürfnis der Fahrt zu erkennen gaben. Die Sicherheit der Förderung war durch mehrere Einrichtungen gewährleistet. Vorerst dadurch, dass überaus langsam und vorsichtig über die Rampe gefahren wurde, nämlich nur mit 1 m Geschwindigkeit in der Sekunde. Dann schritt dem einfahrenden Gestänge immer ein Mann voraus; derselbe entfernte die Arbeiter aus dem Gleise und kündigte die unmittelbare Ankunft des Gestänges an, auf dessen Kommen übrigens alle Arbeiter in den verschiedenen Arbeitsorten durch die fahrplanmäßige Zeit vorbereitet waren. Ferner war während der Fahrt auf der Rampe das Gleis vor Stollenort verriegelt. Endlich aber war die Sicherheit noch dadurch gewahrt, dass jeder Wagen des Zuges seinen eigenen Bremser hatte.“

Am Simplon-Tunnel erfolgt die Förderung auf den Strecken, innerhalb deren der Tunnel im Bau ist, durch Pferde. In den bereits vollendeten Strecken und ausserhalb des Tunnels werden als Zugkraft Lokomotiven von 17 t Gewicht verwendet. Man beabsichtigt, den Pferdezug später ganz aufzugeben und an seine Stelle für die Förderung im Stollen kleine elektrische Lokomotiven mit Sammlerbetrieb zu setzen.

Die Förderung soll im allgemeinen stets in der Richtung des Luftstroms erfolgen, was schon durch die zu erwartende Geschwindigkeit der Luftströmung (6 m i. d. Sek.) geboten erscheint. Demnach treten die in den Tunnel gehenden Wagen in den Parallelstollen ein und die ausfahrenden Wagen benutzen den Tunnelrichtstollen (s. auch S. 136).

Die Leistung bei der Stollenförderung ist naturgemäss geringer als bei der Tagesförderung; jede Bewegung in dem immerhin engen und nur notdürftig zu erleuchtenden Raume ist schon an sich schwieriger und erfordert mehr Zeit; dazu kommt, dass die Fahrbahn nie so gut in Stand gehalten werden kann, als auf einer offenen Strecke, dass grössere und kleinere Hindernisse bei dem beengten Verkehre in den ausgezimmerten unterirdischen Räumen nie ganz zu vermeiden sind. Bei einer guten Bauleitung und guter Anordnung der Förderung kann man annehmen, dass im Stollen oder Tunnel die Förderleistung gegenüber derjenigen auf offener Strecke etwa 60% beträgt.

Wenn man mit  $Q$  die Gesamtlast in kg bezeichnet, die bei Wagenförderung von einem Pferde bewegt werden kann und mit  $s$  die Tangente des Neigungswinkels der Bahn (für Steigungen positiv, für Gefälle negativ einzuführen); wenn man ferner die Zugkraft eines Pferdes zu 75 kg und den Widerstandskoeffizienten der Förderwagen auf gut unterhaltener Arbeitsbahn je 0,01 annimmt, so ergibt sich aus

$$Q(0,01 + s) = 75$$

$$Q = \frac{7500}{1 \pm 100 s}$$

Die mittlere Fördergeschwindigkeit beträgt dabei 1,1 m i. d. Sek. — In gleicher Weise berechnet sich die von einem Arbeiter bei der Wagenförderung zu bewegende Bruttolast zu

$$Q = \frac{1500}{1 \pm 100 s},$$

wobei die mittlere Geschwindigkeit zu 0,9 m in der Sekunde anzunehmen ist.

## Litteratur,

### Stollenförderung betreffend.

- Rziha, Fr. v. Maschinelle Förderung aus dem Voreinschnitte des Ziskaberg-Tunnels bei Prag. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1874, S. 1.  
 Seilförderung im Tunnel. Engineering 1875, S. 58.  
 Lorenz, A. Förderung bei Tunnelbauten. Zürich 1876.  
 Birnbaum. Einiges über Förderung bei Tunnelbauten. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1877, S. 413.  
 Dolezalek. Firstollenbetrieb im Gotthard-Tunnel. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878, S. 473.  
 Birnbaum, H. Transportabler Apparat zur Förderung von Stollen- und Einschnittsmassen. 1879.  
 Bergemann. Die Methoden der Stollenförderung im Tunnelbau. Zürich 1881, vergl. auch Engineering 1881, März, S. 272.

### Feuerlose Lokomotiven.

- Über die Entwicklung der Heißwasser- und Luft-Lokomotiven. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1882, S. 467.  
 Über feuer- und rauchlose Lokomotiven. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1884, S. 27.  
 Lokomotiven mit Gasmaschinenbetrieb. Polyt. Journ. 1884, Bd. 254, S. 445.  
 Über die Benutzung feuerloser Lokomotiven insbesondere im Bergwerks- u. Hüttenbetrieb. Deutsche Bauz. 1885, S. 10.  
 Kächler. Über feuerlose Lokomotiven (Vortrag). Zeitschr. für Lokal- und Straßensbahnw. 1885, S. 74.

### Insbesondere: Heißwasser-Lokomotiven.

- Feuerlose Straßensbahn-Lokomotive für Java. Engineering 1882, Sept. S. 208; Ann. f. Gew. u. Bauw. 1882, Juli, S. 39.  
 Feuerlose Lokomotive von Francq. Wochenschr. d. Ver. deutscher Ing. 1882, S. 359; Ann. f. Gew. u. Bauw. 1883, Jan. S. 13.  
 Kraufs' Lokomotiven für den Bau der Arlberg-Bahn. Engineering 1883, Febr., S. 151; Polyt. Journ. 1885, Bd. 256, S. 379.

### Natron-Lokomotiven von Honigmann.

- Der Honigmann'sche Dampftrieb mit feuerlosem Natronkessel. Deutsche Bauz. 1883, S. 589; Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1883, S. 729; daselbst 1884, S. 69. Deutsche Bauz. 1884, S. 23 u. a. a. O.  
 Versuche mit einer Lokomotive mit Natron-Kessel auf der Aachen-Jülicher Industriebahn. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1884, S. 533; Wochenbl. f. Bankunde 1885, S. 70.  
 Neuere Verbesserungen. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1885, S. 31 u. 73; Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1885, S. 101 u. a. a. O.

### Luft-Lokomotiven.

- Baumont's Lokomotive mit komprimierter Luft. Eisenbahn 1880, Bd. 13, S. 114; daselbst 1881, Dezember, S. 160; Ann. des ponts et chaussées 1881, Juni, S. 738.  
 Mekarski's Lokomotiven. Engineer 1881, März, S. 154; Engineering 1882, Sept. S. 258; Portefeuille économique des machines 1882, S. 37.  
 Lokomotiven von Scott-Moncrieff. Proceedings of mechanical engineers 1882, Okt. S. 649; Revue générale des chemins de fer 1882, Juli, S. 64.  
 Lokomotiven von Hardie. Engineer 1882, Mai, S. 358; Scientific American 1882, Sept. S. 166.  
 Mekarski's Luftlokomotive für Tunnel. Scientific American, Suppl. 1884, S. 6826.

## B. Schachtförderung.

Es sei vorläufig und unter Verweisung auf § 1 bemerkt, daß man mit der Einrichtung von Förderschächten bei Tunnelbauten zweierlei verschiedene Zwecke verfolgen kann, die auf die Schachtförderung von maßgebendem Einflusse sind. In dem einen Falle will man mit ihrer Hilfe lediglich die Fertigstellung des Richtstollens beschleunigen, sodafs nach dessen Beendigung der Schacht außer Betrieb gesetzt wird. Im anderen Falle soll mit Hilfe des Schachtes außerdem ein Teil des ganzen Tunnels fertiggestellt werden; der Schachtbetrieb wird dann während des ganzen Baues aufrecht erhalten. Der Umstand, daß in neuerer Zeit infolge Ausbildung der Gesteinsbohrmaschinen Förderschächte vergleichsweise selten hergestellt werden, rechtfertigt es, wenn die Förderung aus Schächten und ihre Hilfsmittel im Nachstehenden nur kurz besprochen werden.

Die sehr verschiedenartige Einrichtung der Schachtförderung und namentlich die Wahl des Motors ist zumeist abhängig von der Tiefe des Schachtes, und von den in einer gewissen Zeit zu bewältigenden Fördermassen. Je nach der geringeren oder größeren Schachttiefe und den geringeren oder größeren Fördermassen werden zur Schachtförderung Menschen, Pferde oder Dampf — im Bergbau auch häufig Wasserkraft — als Motoren benutzt.

Zur Verwendung der Handarbeit bedient man sich des Haspels, für alle übrigen Motoren benutzt man in der Regel den Göpel, selten den Haspel. Stets verwertet man die Schwerkraft des niedergehenden Gefäßes zum Aufziehen des steigenden, indem man gleichzeitig das eine hebt, das andere senkt. Sowohl bei der Haspel- als bei der Göpel-förderung werden entweder die unter Tage benutzten Gefäße und zwar unmittelbar oder auf Gestellen im Schacht zu Tage gefördert — oder man verwendet besondere Schachtgefäße, in welche die Berge unten im Schachte, am sogenannten „Füllorte“ umgeladen werden. Das letztere Verfahren ist weniger üblich und nur unter Umständen beim Bergbau gerechtfertigt, wo sehr enge, niedrige Strecken die Anwendung nur kleiner Fördergefäße besonderer Bauart bedingen; beim Tunnelbau ist dagegen das Umladen stets zu vermeiden. Auf die im Bergbau zur Erleichterung des Umladens in Gebrauch befindlichen Einrichtungen werden wir deshalb hier nicht weiter eingehen. — Die Plattform, auf die am Schachtmunde die Berge gehoben werden, nennt man die „Hängebank“ und den Ort, wo die Streckengefäße unten in den Schacht eingeführt werden, den „Anschlag“.<sup>47)</sup>

### § 44. Fördermaschinen.

1. Der Haspel. Der Haspel ist die einfachste und älteste Fördermaschine, die nur noch beim Abteufen von Schächten, oder allenfalls noch bei kurzen Streckenbauten da angewandt wird, wo die Schachttiefe höchstens 30 bis 40 m beträgt und die zu fördernde Masse gering ist, sodafs eine größere Anlage sich nicht lohnen würde.

In der Regel wird der Haspel beim Tunnelbau in seiner einfachsten Gestalt als Horn- oder Berghaspel angewandt. Er (s. Fig. 115 u. 116) besteht aus einer hölzernen Welle, die mittels eiserner oder Stahlzapfen in einem einfachen Bockgestell lagert und zum Drehen mit auf die Zapfen aufgesteckten Kurbeln oder „Hörnern“

<sup>47)</sup> Bei einem Schachte, der nicht mit einem „Schachtsumpf“, d. h. mit einer unter die Tunnelsohle hinabgehenden Vertiefung des Schachtes versehen wäre, würde also der „Anschlag“ räumlich mit der Schachtsohle zusammenfallen.

Fig. 115 u. 116. *Berghaspel.*

Fig. 115.

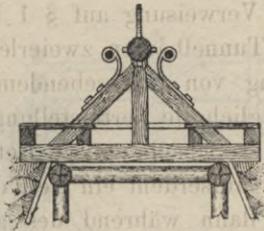
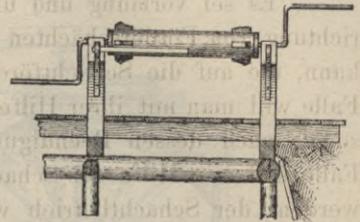


Fig. 116.



versehen ist. Mit der Stärke der Welle geht man nicht gern über 25 cm hinaus, als Kurbelhalbmesser nimmt man 45 bis 50 cm. Die Welle soll mit ihrer Achse etwas über halber Mannshöhe über dem Arbeitsplatze liegen, sodass die Hörner im höchsten Stande noch nicht die Schulter des Arbeiters erreichen. Sie sind am zweckmäßigsten unter einem Winkel von  $120^\circ$  gegeneinander zu versetzen. Zur Sicherheit für die Arbeiter ist der Haspel mit Sprengvorrichtungen für beide Drehrichtungen versehen.

Man benutzt bei der Haspelförderung meistens nur ein Seil, das unbefestigt in mehrfachen Windungen um die Welle gelegt wird, wodurch das Gleiten des Seiles vermieden und gleichzeitig eine genügende Entfernung der beiden Seilenden voneinander erzielt wird, die notwendig ist, um die an letzteren anzuhängenden Fördergefäße bei ihrem Auf- und Niedergang ohne Anstoß nebeneinander vorbeigehen zu lassen. — Um an Arbeitern zur Bedienung des Haspels zu sparen, wendet man auch Haspel mit Vorgelege an, jedoch kann das nur auf Kosten der Zeit geschehen und sind die Fälle im Tunnelbau selten, wo dies mit Vorteil verbunden ist.

**Bremshaspel.** Es mag hier der sogenannte „Bremshaspel“ Erwähnung finden, der den Zweck hat, Baumaterialien, namentlich Holz und Steine, von Tage aus in den Schacht hinab zu befördern. Er hat wie der Hornhaspel eine einfache hölzerne Welle, auf der das Seil sich auf- und abwickelt. Auf der Welle ist hier aber ein Bremsrad von 2 bis 3 m Durchmesser angebracht, mittels dessen die Geschwindigkeit der am Seile aufgehängten und herabzulassenden Lasten geregelt werden kann. Der Bremshaspel wird entweder unmittelbar über der für den Bremsdienst bestimmten besonderen Schacht-  
 abteilung oder seitlich derselben aufgestellt, im letzteren Falle ist, wie bei dem nachstehend beschriebenen Göpel, das Seil über eine Seilscheibe in den Schacht einzuführen.

2. Der Göpel. Der Göpel unterscheidet sich vom Haspel im wesentlichen dadurch, daß die Welle des Haspels wagerecht, dagegen die Welle des Göpels senkrecht gerichtet ist. Außerdem pflegt der Haspel über dem Schachte aufgestellt zu sein, während der Göpel sich stets seitlich neben dem Schachte befindet und zur Aufnahme des Seiles mit einer sogenannten „Seiltrommel“ versehen ist. Zur Führung des Seiles ist daher bei der Göpelförderung über dem Schachte eine Seilscheibe erforderlich. Je nach der bei dem Göpel zur Verwendung kommenden Kraft unterscheidet man „Pferdegöpel“, „Wassergöpel“ u. s. w. Wir werden nur den ersteren hier einer kurzen Besprechung unterziehen, da sich beim Tunnelbau nur sehr selten Gelegenheit zur Anwendung der Wassergöpel bietet.

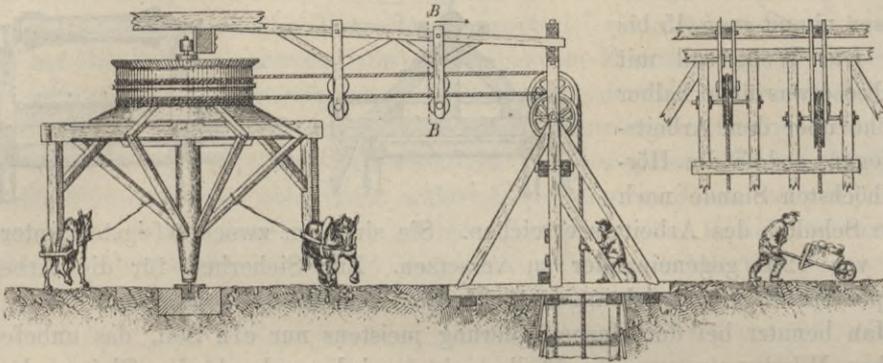
Der Pferdegöpel wird in der Regel durch 1 oder 2 Pferde betrieben. Er besteht im wesentlichen aus der Göpelwelle, der Seiltrommel (Seilkorb) und dem Schwengel. In Fig. 117 u. 118 (S. 144) ist beispielsweise ein zweispänniger Göpel dargestellt.

Der untere Zapfen der senkrechten Welle eines Göpels dreht sich in einem auf dem „Göpelstock“ befestigten Lager, während das Halslager für den oberen Zapfen an dem Gebälk des Göpelhauses angebracht wird. — Der zum Aufwickeln des Seiles dienende Seilkorb ist aus Kreuzhölzern zusammengebaut, und auf dem an dieser Stelle quadratisch geformten oberen Teile der Welle befestigt. Die Kreuze tragen am Umfange

Fig. 117 u. 118. *Pferdegöpel.*

Fig. 117.

Fig. 118.



Kranzhölzer, auf denen in geringen Umständen Schal-Latten angebracht werden. Wendet man nur ein Seil an, so muß dasselbe wie bei dem Haspel in mehreren Windungen um die Trommel geschlungen werden. Man giebt dann zweckmäÙig der Seiltrommel eine Ausrundung, damit das Seil auf der Trommel sich nicht zu sehr verschiebt. Bei zwei Seilen ist die Seiltrommel in ihrer Höhe in zwei Teile zu trennen und jedes Seil für sich auf der Trommel zu befestigen.

Zur Erzielung eines möglichst gleichmäÙigen Aufwickelns des Seiles auf die Trommel ist es notwendig, daß die Göpelwelle in einer Entfernung vom Schachte aufgestellt wird, die wenigstens 20mal so groß ist, als die Höhe des Seilganges auf der Trommel. — Der Halbmesser der letzteren muß mit der Länge des Schwengels in einem passenden Verhältnisse stehen. Rziha giebt dafür als günstigstes Verhältniß 1:4 an. In der Regel nimmt man für die Seiltrommel einen Durchmesser von 2 bis 3 m. Um beim Reifsen der Zugstränge den plötzlichen Rückgang des Schwengels zu verhindern, was leicht zu Unglücksfällen Veranlassung geben kann, ist an dem Schwengel eine Schlepptange anzuhängen, die ihn eintretendenfalls gegen den Rückgang absteift. Zur größeren Sicherheit bringt man zweckmäÙig außerdem Sperrad-Vorrichtungen auf der Welle an.

3. Fördermaschinen mit Dampfbetrieb. Die Dampfkraft ist für die Schachtförderung in den meisten Fällen der Pferdekraft vorzuziehen; häufig ist sie durch die Verhältnisse geradezu geboten. Wo nur geringere Massen zu heben sind, wo es sich namentlich nur um Beschleunigung der Herstellung des Richtstollens handelt und der Schacht gar nicht oder nur in geringem Maße für den Abbau des ganzen Tunnels mit benutzt werden soll, kurz überall da, wo allenfalls die Anwendung eines Pferdegöpels in Frage kommen könnte, wird man, wenn man sich für die Verwendung von Dampf entschieden hat, Lokomobilen für die Aufzugsmaschine benutzen; sie sind leicht zu beschaffen und nach Gebrauch am besten zu verwerten.

In den Fig. 3 bis 5, Taf. II und Textfig. 119 u. 120 ist eine derartige Förderanlage dargestellt, wie sie am Schwelmer Tunnel (Eisenbahn von Düsseldorf nach Hörde) zur Anwendung gekommen ist. Die Kraftübertragung von der Lokomobile *A* auf die Fördervorrichtung geschieht hier mittels Riementrieb. Durch einen in wagerechter Lage drehbaren Hebel *b* wird der Riemen von der losen Scheibe *h* auf die feste Scheibe *g* gebracht und damit die Maschine in Thätigkeit gesetzt (Fig. 119 u. 120). Ein anderer Hebel dient dazu, den Riegel *c* bzw. *c'* mittels kleiner Kegelräder in das große Kegel-

Fig. 119 u. 120. Fördermaschine.

Fig. 119.

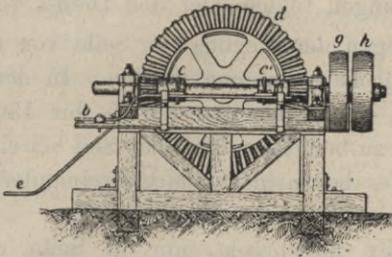
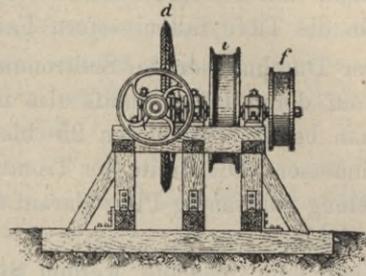


Fig. 120.



rad *d* eingreifen und damit die Seiltrommel *i* links oder rechts herumgehen zu lassen. Durch den Fufshebel *e* wird die Bremse *f* angezogen. — Die Lokomobile *B* (Fig. 3, Taf. II) wurde zur Dampferzeugung für die unten im Schachte aufgestellte Dampfmaschine benutzt.

In solchen Fällen, wo mit dem Schachtbetriebe beim Tunnelbau nicht nur die Beschleunigung in der Herstellung des Richtstollens, sondern auch die Fertigstellung eines Teiles des Tunnels beabsichtigt wird, wo also durch den Schacht auf längere Zeit gröfsere Massen gefördert werden sollen, hat man bisher für die Förderung meistens feste Dampfmaschinen mit besonderer Kesselanlage verwandt, und diese gleichzeitig für den Betrieb von Wasserhaltungs- und Lüftungsmaschinen u. s. w. benutzt. Als Beispiel hierfür ist in den Fig. 1 u. 2, Taf. II die Schachtanlage beim Spitzberg-Tunnel dargestellt.<sup>48)</sup> Es empfiehlt sich indessen für die stets vorübergehenden Zwecke des Tunnelbaues fahrbare oder halb stabile Fördermaschinen anstatt fester zu verwenden, wie sie beim heutigen Bergbau zum Abteufen neuer Schächte fast ausschließlich Verwendung finden, und wie sie bereits von mehreren Maschinenfabriken in Gröfsen von 10 bis 200 Pferdekraft gebaut werden. Sie sind im Betriebe durchaus nicht teurer als feste Maschinen, dagegen wesentlich billiger in der Beschaffung, da bei denselben hohe Aufstellungs- und Gründungskosten erspart werden. Beschreibungen und Zeichnungen von derartigen fahrbaren Fördermaschinen der verschiedensten Konstruktionen und Gröfsen finden sich u. a. im Engineering vom Juni und August 1874, vom Februar und November 1876, vom Mai 1878 u. s. w.<sup>49)</sup>

Stärke der Maschinen. Die für eine Fördermaschine erforderliche Stärke ergibt sich aus der Formel:

$$N = \frac{v \cdot Q}{75 \alpha},$$

wobei *N* die Nutzleistung der Maschine in Pferdekraften,  $\alpha$  den Wirkungsgrad, der = 0,5 bis 0,75 zu setzen ist, *v* die Aufzugsgeschwindigkeit in Metern in der Sekunde, *Q* die zu fördernde Last in Kilogrammen bezeichnet. Bezüglich der Aufzugsgeschwindigkeit sei bemerkt, dafs man beim Tunnelbau damit nicht über 2 m hinausgeht und dafs sie gewöhnlich zwischen 1 bis 2 m angenommen wird.

Seiltrommeln. Bei den Dampfaufzügen sind die Seiltrommeln in der Regel aus Gußeisen. Es genügt auch hier für die Förderung eine Trommel, jedoch kommen

<sup>48)</sup> Bauinspektor A. Stané in Prag: Über den Bau des Spitzberg-Tunnels. Zeitschr. f. Bauw. 1878.

<sup>49)</sup> Über Göpel, versetzbare Dampfmaschinen und Lokomobilen vergl. den IV. Band dieses Handbuchs, Kap. I, S. 29 bezw. 504 u. 514.

häufig zwei auf einer Welle befestigte Trommeln mit getrennten Seilen zur Verwendung. Bei der ersteren Anordnung wird an Seillänge gespart, dagegen aber der Nachteil eingetauscht, daß bei eintretendem Seilbruche beide an demselben Seile hängende Förderschalen in die Tiefe fallen, sofern Fangvorrichtungen fehlen oder den Dienst versagen.

Der Durchmesser der Seiltrommeln ist wegen der Biegung der Seile von großem Einfluß auf deren Dauer, muß also möglichst groß genommen werden. In der Regel nimmt man bei Hanfseilen den 25- bis 50fachen, bei Drahtseilen den 75- bis 150fachen Seildurchmesser. Die Breite der Trommeln ist so zu bemessen, daß das Seil bei einfacher Aufwicklung vollständig Platz darauf findet, da es bei mehrfachem Übereinanderwickeln erheblich leidet.

Über dem Schachte werden Seilscheiben angebracht, um die Seile von der Trommel in die Richtung des ersteren zu leiten. Der rillenförmige Umfang der Scheiben wird häufig zur Schonung des Seiles mit Holz oder auch mit Guttapercha ausgefüllt. Der Durchmesser der Seilscheiben ist dem der Seiltrommeln gleich anzunehmen. Die Seilscheiben sind so hoch über der Hängebank anzubringen, daß jede Gefahr eines Anstoßes der Fördergestelle bzw. Gefäße an dieselben bei weniger achtsamer Bedienung der Maschine vermieden wird. Eine Höhe von 5 m genügt hierfür bei der im Tunnelbau üblichen geringen Seilgeschwindigkeit.

Das die Seilscheiben tragende, meistens von Holz hergestellte Gerüst nennt man den Schachtturm. Er erhält zweckmäßig eine Überdachung, bleibt aber an den Seiten gewöhnlich ohne Verschalung.

Allgemeine Anordnungen. Damit sich das Seil auf der Trommel gleichmäßig und ohne schädliche Reibungen aufwickeln kann, ist bei Dampfaufzügen nach den Erfahrungen im Bergbau eine Entfernung der Trommeln vom Schachte erforderlich, die wenigstens 24mal so groß ist, als die notwendige Breite der Trommeln beträgt.

Die Fördermaschine ist mit einer gut wirkenden, mit Fußhebel zu bedienenden Bremse (in der Regel Bandbremse) zu versehen, die am zweckmäßigsten unmittelbar am Seilkorbe angebracht wird.

Alle Steuerungs- und Bremshebel einer Fördermaschine sind so anzuordnen, daß sie bequem von einem Wärter ohne Änderung seines Standortes bedient werden können. Auch ist es zweckmäßig, daß dieser von seinem Stande aus den Seilturm übersehen kann, sodafs er bei Bedienung der Maschine nicht lediglich auf die Signale angewiesen ist.

**§ 45. Seile.** Man benutzt bei der Schachtförderung sowohl Rund- als Bandseile; die ersteren sind am meisten in Gebrauch. Als Material dafür dient Hanf, Eisendraht oder Gufstahldraht. Für die Berechnung des erforderlichen Querschnittes der Rundseile ist von dem Oberbergamte Dortmund eine Anweisung erlassen, nach welcher sein soll:<sup>50)</sup>

$$\text{Bei trockenem Hanfseil} \dots \dots \dots q = \frac{1}{95} P,$$

$$\text{bei geteertem Hanfseil} \dots \dots \dots q = \frac{1}{79} P,$$

$$\text{bei Eisendrahtseilen} \dots \dots \dots d^2 = \frac{P}{7,31n},$$

$$\text{bei Gufstahldrahtseilen} \dots \dots \dots d^2 = \frac{P}{15n};$$

hier bedeutet  $P$  das aufzuziehende Gewicht in Kilogrammen,  $q$  den Querschnitt des Seiles in Quadratcentimetern bei 6facher Sicherheit,  $n$  die Zahl der Drähte,  $d$  den Durch-

<sup>50)</sup> „Der Berggeist“, Köln 1870, S. 490 und „Glückauf“, Essen 1871, No. 44.

messer der einzelnen Drähte in Millimetern. Bei tieferen Schächten ist das Seilgewicht zur Bestimmung der Seildicke mit in Rechnung zu ziehen.

Um die Seile gegen Nässe zu schützen, die ihre Dauer sehr beeinträchtigt, werden die Hanfseile geteert, wodurch allerdings die Tragfähigkeit leidet, die Dauer aber in größerem Maße vermehrt wird. Bei Drahtseilen wendet man zu gleichem Zwecke gegen das Rosten eine Schmiere aus gleichen Teilen von Kolophonium, Talg und Leinöl an, mit der das Seil von Zeit zu Zeit überzogen wird.

Um beim Anheben der Last den sehr nachteiligen plötzlichen Zug durch das Seil zu mindern, verwendet man bei größeren Gewichten elastische Zwischenmittel, wie Gummi oder Federbüchsen. Zur Schonung der Seilenden, an denen die Last mittels Haken oder bei Gestellen mittels geschlossener Ringe und Ketten oder Bügel befestigt wird, schlägt man die Drahtseile zweckmäßig über eine Rolle, an deren Zapfen die Ketten oder Bügel angreifen. Das umgebogene Ende wird oberhalb der Rolle mit eisernen Schellen an das Seil festgeklemmt. Beim Hanfseil legt man in die Schleife mindestens ein Eisenblech, um deren Abnutzung zu verringern. In Fig. 121 bis 125 sind mehrere Seilverbindungen dieser Art dargestellt.

Fig. 121 bis 125.

*Seil- und Hakenverbindungen.*

Fig. 121. Fig. 122. Fig. 123. Fig. 124.

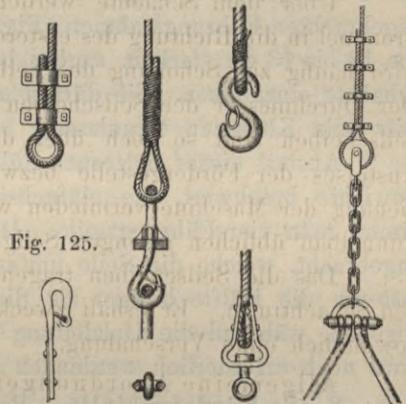


Fig. 125.

**§ 46. Schachtfördergefäße.** Bei unbedeutendem Schachtbetrieb wendet man einfache Schachtgefäße ohne Fördergestelle an, die unmittelbar am Seile befestigt und dann zur Vermeidung des Umladens im Stollen und über Tage auf die Förderwagen (Plattform- oder Gestellwagen) aufgesetzt bzw. daran aufgehängt und so weiter geschafft werden. Solche Schachtgefäße sind: der „Kübel“, die „Tonne“ und der „Kasten“. Die ersteren unterscheiden sich untereinander nur in der Größe, gegenüber dem Kasten in der Form, indem dieser eine viereckige Gestalt erhält, während jene cylindrisch gestaltet sind. Der Kasten ist zuweilen mit einer niederzuklappenden Seitenwand versehen, um die Entleerung zu erleichtern. Die Größe der Schachtgefäße richtet sich nach dem anzuwendenden Motor. Beim zweimännigen Haspel benutzt man Kübel von 0,04 cbm, beim viermännigen solche von 0,08 cbm, bei den Pferdegepöln Gefäße von 0,16 bis 0,3 cbm Inhalt, je nachdem sie mit einem oder zwei Pferden betrieben werden. Bei Dampfbetrieb werden in Schlesien Tonnen von 0,7 bis 1 cbm Inhalt verwendet. Behufs Befestigung der Gefäße am Seile sind sie häufig mit eisernen Bügeln, Stangen oder Ketten mit Ringen versehen. Die letzteren sind indessen hinderlich beim Füllen, es ist deshalb zweckmäßiger, die Ketten am Seile zu befestigen und an den Gefäßen Haken anzubringen, in die sie eingreifen. Dabei sind die Haken zur Vermeidung des Aushakens mit beweglichen Ringen zu versehen (Fig. 123 u. 125). — Zur Erleichterung des Entladens der Schachtgefäße werden an ihnen zweckmäßig Zapfen angebracht, an denen sie auf der Hängebank in untergeschobene Gestellwagen eingehängt werden, um bequem umgekippt und ausgestürzt zu werden (Fig. 111, S. 129).

**§ 47. Schachtführungen.** Um die im Schachte auf- und abgehenden Fördergefäße gegen Untergreifen oder Aufsetzen an den Schachthölzern oder unter sich zu

sichern, bringt man in dem ersteren Führungen an, die je nach der Bedeutung des Schachtbetriebes mehr oder weniger vollkommen hergestellt werden. Die einfachste Vorkehrung dieser Art, die bei geringen Schachttiefen und bei Benutzung besonderer Schachtgefäße ohne Fördergestell zur Anwendung kommt, besteht in der Anbringung einzelner Schalhölzer, sogenannter „Kehrlatten“, an den Schachtwänden. Eine vollständige Verschalung findet nur statt in dem „Bremstrum“, d. i. diejenige Schachtabteilung, die dazu dient, Materialien, als Steine und Holz u. s. w. in den Tunnel hinabzulassen.

Eine sichere, die Bewegung in bestimmter Linie leitende Führung bieten die Kehrlatten nicht. Diese wird durch „Führungslatten“ oder „Leitbäume“ erreicht, die an zwei gegenüberliegenden Schachtwänden befestigt und gabelförmig von Vorsprüngen des Fördergestelles (Fig. 126) oder von einem über den Schachtgefäßen am Seil angebrachten Führungsrahmen (Fig. 5, Taf. II) umfaßt werden. Die Führungslatten sind aus 10 bis 13 cm starken, sauber bearbeiteten Hölzern herzustellen und mit Sorgfalt im Schachte einzubauen. Sie dürfen an keiner Stelle zu großen Spielraum bieten, andererseits kein Klemmen veranlassen.

Anstatt dieser hölzernen Führungen wendet man mit Vorteil Seile an, die, durch Gewichte beschwert, die einfachste und billigste Führung gewähren. In der Regel nimmt man vier Führungsseile. Dabei sind an dem Förderrahmen oder Gestell Hülsen angebracht, welche die Seile umfassen. Die Kosten der Seilleitung werden von Serlo fast um die Hälfte billiger als die der Holzleitung, nämlich zu 9 M. f. d. Meter angegeben, während die Holzleitung nach demselben 17 M. kostet, ohne die für letztere etwa noch erforderlich werdenden besonderen Schachthölzer.

**§ 48. Fördergestelle.** Bei größerem Schachtbetrieb ist die Benutzung von Schachtgefäßen nicht zweckmäßig: man trifft in solchen Fällen Vorkehrungen, die zur Förderung in den Stollen und Tunnelstrecken dienenden Wagen selbst durch den Schacht zu Tage zu fördern. Dies sind die sogenannten „Fördergestelle“, auch „Förderschalen“ oder „Förderkörbe“ genannt (s. Fig. 6, Taf. II), die dauernd an dem Seile befestigt sind und auf welche die Wagen unmittelbar vom Streckengleise aufgeschoben werden.

Im Bergbau werden diese Fördergestelle unter Umständen so eingerichtet, daß sie neben- und übereinander in zwei oder drei Bühnen mehrere Wagen gleichzeitig heben können. Bei Tunnelbauten kommt man überall mit einfachen Förderschalen aus, die nur einen Wagen aufnehmen, da hier etwaigen Bedürfnissen besser durch größere Förderwagen als durch Vermehrung ihrer Zahl entsprochen wird.

Die Förderschalen dürfen den Schachtraum nicht mehr als unbedingt notwendig versperren. Man stellt sie daher meistens aus Flach- und Winkeleisen her, auch wohl aus schwachen, gezogenen Röhren. Der Boden ist dicht abzubohlen oder aus Eisenblech anzufertigen und mit Fahrschienen zu versehen. Aufklappbare Querstangen oder Bügel dienen als Verschluss des beim Auffahren der Wagen nach beiden Seiten offenen Gestelles zur Sicherung der letzteren gegen Ablaufen von der Schale. Wenn Menschen auf der Schale mit befördert werden sollen, ist sie mit einem nach außen stark geneigten Blech- oder Bretterdache zum Schutze gegen herabfallende Gegenstände (u. a. auch das bei einem Seilbruche niederfallende Seilende) zu versehen.

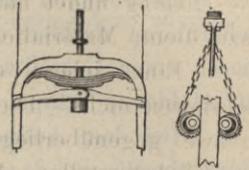
**§ 49. Fangvorrichtungen.** Um beim Reissen des Förderseiles zu verhindern, daß die am Seile aufgehängte Last in die Tiefe stürzt und hierbei — abgesehen von der großen Gefahr für etwa mitbeförderte Menschen — die Schachtzimmerung beschädigt, bringt man an den Fördergestellen sogenannte Fangvorrichtungen an, die bei eintretendem Seilbruche das Fördergestell an den Leitbäumen festhalten sollen.

Die Konstruktionen der Fangvorrichtung zeigen außerordentliche Mannigfaltigkeit. Im wesentlichen beruhen sie auf folgendem Grundsatz: An dem Fördergestell angebrachte Riegel oder Hebel werden derart mit dem Seile in Verbindung gesetzt, daß sie zurücktreten, so lange dieses in Spannung, dagegen beim Schlaffwerden desselben durch Federn gegen die Leitbäume geprefst werden, hier in eingearbeitete Vertiefungen oder Zähne eingreifen und so das Fördergestell festhalten (Fig. 126). Dasselbe kann auch durch Keile oder gezahnte Excenter bewirkt werden, welche paarweise die Leitbäume umfassen und beim Erschlaffen des Seiles sich an letztere anpressen (Fig. 127).

Fig. 126 u. 127.

Fangvorrichtungen.

Fig. 126. Fig. 127.



Eine mit voller Sicherheit wirkende Fangvorrichtung ist bis jetzt nicht bekannt. Der Grund für diese Thatsache liegt wohl hauptsächlich in dem Umstande, daß die Federn im Laufe der Zeit an Spannung und Beweglichkeit verlieren und nun im ersten Moment des eintretenden Seilbruches nur ungenügend wirken; dazu kommt, daß auch leicht noch andere, geringe Zufälligkeiten ein sofortiges kräftiges Eingreifen der Fanghebel oder Excenter verhindern können — dann aber nimmt die lebendige Kraft der schweren Förderschale so rasch zu, daß die Fangvorrichtungen in den meisten Fällen zerstört werden.

Um namentlich dem letzteren Umstande Rechnung zu tragen, ist vom Bergrat v. Sparre in Oberhausen eine Einrichtung getroffen, die es ermöglicht, daß die Fallkraft der Förderschale allmählich von dem Fangapparat aufgenommen wird.<sup>51)</sup> Zu diesem Zwecke ist der Fangapparat an einem besonderen Führungsrahmen über dem Fördergestell angebracht. Dieser Rahmen ist mit einem eisernen, 2 bis 3 m langen Cylinder fest verbunden, der in dessen Mitte aufgesetzt ist. Oben im Cylinder befindet sich ein luftdicht schließender Kolben, dessen Kolbenstange nach unten durch eine in dem Rahmen angebrachte Stopfbüchse geführt ist. An der Stange ist das Fördergestell aufgehängt, während das durch den Kolben hindurchgehende obere Ende der Kolbenstange an dem Förderseile befestigt ist. Der Cylinder ist mit Luft, sowie mit Haaren, Seegras u. s. w. gefüllt. Tritt nun ein Seilbruch ein, dann wird zunächst nur der den Cylinder und den Fangapparat tragende Rahmen durch letzteren festgehalten, wobei wegen des geringen Gewichts dieser Konstruktionsteile die Gefahr des Zertrümmerns des Fangapparates erheblich vermindert und eine größere Wahrscheinlichkeit eines sichereren Wirkens geboten wird. Ist der Rahmen festgehalten, dann werden durch das weiter fallende Fördergestell die Luft und die elastischen Stoffe in dem Cylinder mittels des Kolbens zusammengeprefst und der sonst sehr schädliche harte Stofs wird durch das elastische Luftkissen vermieden und die Förderschale allmählich zum Stillstand gebracht. — Auch für Drahtseilführungen hat man Fangvorrichtungen gebaut, die auf ähnlichen Grundsätzen beruhen. Wegen neuerer Ausgestaltungen der Fangvorrichtungen ist das am Schlusse dieses Abschnittes aufgenommene Litteratur-Verzeichnis zu Rate zu ziehen.

**§ 50. Einrichtung der Hängebank.** Unter der „Hängebank“ versteht man, wie oben bemerkt, die Plattform am Schachtmunde, auf die die Fördergefäße gehoben werden. Ihre Höhenlage wählt man zweckmäfsig nach der Gestalt des zur Verfügung stehenden Geländes so, daß ein nachträgliches Heben der Berge mittels Wurf vermieden

<sup>51)</sup> „Der Berggeist“. Köln 1872.

wird und ein einfaches Ausstürzen der Fördergefäße auf der Halde genügt. Beim Aufzug von Schachtgefäßen ohne Fördergestell benutzt man zu deren bequemerer Entleerung mit Rädern versehene Schiebebühnen, die auf einem kurzen Gleise über den Schacht hinweg unter das Gefäß geschoben werden, sodafs dasselbe daraufgesetzt und so zur Seite nach der naheliegenden Aussturzstelle befördert werden kann. An Stelle der Schiebebühnen kommen auch sogenannte Schachtfallthore zur Anwendung, die in Scharnieren drehbar den Schacht schliesen, und mit Schienen versehen sind, um auf diesen einen Gestellwagen unter das Gefäß zu schieben, so dasselbe aufzunehmen und zur Halde zu führen.

Bei dem Aufzug mit Fördergestellen sind derartige Schiebebühnen oder Schachtthore überflüssig, da es bei diesen nur notwendig ist, die Förderschale auf der Hängebank zu stützen. Hierzu dienen eiserne Bügel, die um Scharniere drehbar von der aufsteigenden Schale in die Höhe gehoben werden und sich nach dem Durchgange der Schale wieder über die Ecken oder die Seiten des Förderschachtes legen und so das Fördergestell unterstützen. Beim Niedergange des letzteren werden diese Bügel mittels eines Hebels, nachdem die Förderschalen vorher etwas gehoben, aufgeklinkt, sodafs die Schale frei durchgehen kann (s. Fig. 6, Taf. II).

Besser als diese Bügel wendet man zu gleichem Zwecke sogenannte Kaps an, d. h. in den Stöfsen der Förderschächte angebrachte, in Scharnieren drehbare Stützen, auf denen ebenfalls das Fördergestell aufsetzen kann. Sie haben den Vorzug, dafs das aufsteigende Fördergestell dieselben allmählich zurückdrücken kann. Ist dieses über die Hängebank hinausgekommen, so fallen sie von selbst zurück und bieten dem Gestell ein sicheres Auflager. Für seinen Niedergang werden die Kaps durch Hebel zurückgezogen.

Zur Sicherung der Arbeiter ist es erforderlich und bergpolizeilich vorgeschrieben, die Schachtöffnung auf der Hängebank, den „Schachtmund“ zu verschliesen oder abzusperren. Das geschieht entweder durch die erwähnten Schachtfallthore oder durch sogenannte „Schachtgitter“, die den Schacht ringsum einschliesen und mit Thüren für den Durchgang der Wagen versehen sind.

**§ 51. Signale.** Zwischen dem Abnehmer auf der Anschlagsohle und dem Abnehmer auf der Hängebank, bei Maschinenförderung auch noch zwischen letzteren und dem Maschinisten, muß eine leichte Verständigung möglich sein, für die bei gröfseren Schachttiefen, bei denen ein Zuruf nicht mehr gehört werden kann, Signalvorrichtungen notwendig sind. Als solche benutzt man einfache Glockenzüge oder einen starken Eisendraht von 1 bis  $1\frac{1}{2}$  cm Dicke, der an der Schachtwand befestigt ist und auf welchen Signale durch Hammerschläge gegeben werden. In neuerer Zeit verwendet man auch elektrische und Luftdrucksignale.

Diese Zeichengebung wird durch eine besondere Signalordnung geregelt, in der vorzuschreiben ist, dafs erstere nur von ganz besonders dazu beauftragten Personen gehandhabt werden darf. In manchen Bergbezirken sind zwei gut wirkende Signaleinrichtungen von und nach der Hängebank zum Anschlagorte vorgeschrieben, um Mißverständnisse, die leicht zu Unglück Veranlassung geben könnten, zu vermeiden.

Es ist zweckmäfsig eine Vorrichtung mit der Maschine in Verbindung zu bringen, die dem die Fördermaschine bedienenden Maschinisten durch ein Glockensignal angiebt, wann die Förderschale auf der Höhe der Hängebank oder auf der Anschlagsohle angekommen ist. Zu gleichem Zweck werden auch wohl an dem Förderseile Marken angebracht, nach denen der Maschinist die Höhe der Förderschale beurteilen kann.

**§ 52. Schachtförderung bei geneigten (donlägigen) Schächten.** Bei der vorstehenden Besprechung der Schachtförderung haben wir besonders saigere (senkrechte) Schächte im Auge gehabt, die vorwiegend bei Tunnelbauten zur Anwendung kommen. Für geneigte Schächte bleiben die Einrichtungen im allgemeinen dieselben, nur werden hier die Leitbäume durch Schienengleise ersetzt, auf denen die Fördergestelle mit Rädern laufen. Die Fördergestelle werden so gebaut, daß ihre Plattform zur Aufnahme der Fördergefäße wagerecht liegt. Um das Schleifen der Seile zu vermeiden, werden in den Gleisen Rollen angebracht, auf die sich das Seil auflegt.

**§ 53. Kosten der Schachtförderung.** Rziha giebt in seinem „Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst“ eine große Anzahl Beispiele und Tabellen über die Kosten der Schachtförderung, aus denen die nachstehende Tabelle mit Umrechnung auf Metermaß und unter Zugrundelegung folgender Einheitssätze zusammengestellt ist:

- Für einen Arbeiter sind für eine 12stündige Schicht mit im ganzen zwei Stunden Ruhepause für Frühstück, Mittag und Vesper in Anrechnung gebracht 3 M.
- für ein Pferd nebst Knecht desgl. 8 M.
- für einen Maschinisten, Anschläger und Abschläger desgl. zusammen 10 M.
- für einen Centner Kohlen frei Tunnel 0,8 M.

Tabelle XVI. **Kosten der Schachtförderung beim Tunnelbau.**

Förderhöhe m	Haspelförderung		Pferdegöpel-Förderung		Dampfmaschinen-Förderung	
	1 Ctr. kostet zu heben		einspännig 1 Ctr. kostet zu heben	zweispännig 1 Ctr. kostet zu heben	Die Maschine macht in 12stündiger Schicht Fördergänge (à 10 bis 12 Ctr.)	1 Ctr. kostet zu heben
	Pfg.		Pfg.	Pfg.		Pfg.
15	6,9		3,1	2,5	114	1,4
30	8,5		3,5	2,8	106	1,8
45	10,3		4,0	3,2	101	2,0
60	12,2		4,5	3,7	96	3,3
90	16,4		6,1	4,4	87	3,0
120	21,4		7,8	5,4	79	3,7
150	28,9		9,6	6,3	73	4,3

In den vorstehenden Kosten sind diejenigen für Schmieren und kleinere Ausbesserungen der Maschinen und der Fördergefäße, sowie das Weiterschaffen der Massen auf einen naheliegenden Haldensturz einbegriffen. Ist der Haldensturz jedoch so weit von der Hängebank des Schachtes entfernt, daß zur Besorgung des Gefäßtransportes mehr Zeit erforderlich ist, als zur Aufholung des Gefäßes im Schacht, dann muß die Förderung bis zur Halde noch besonders berechnet werden.

**Litteratur,**

**Schachtförderung betreffend.**

Jacob, G. Über die Förderung in vereinigten donlägigen und saigere Schächten mit selbstthätiger Sicherheitsvorrichtung. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1853, S. 157.  
 Förderung aus Schächten. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1875, No. 24 bis 29.  
 Schachtförderungs-Einrichtungen der Tiefbau-Anlagen des Siegener Eisenstein-Bezirks. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1882, S. 69 u. a.  
 Die Schachtförderung auf der Gesundheits-Ausstellung in Berlin im Jahre 1883. Ann. f. Gew. u. Bauw. 1883, Aug., S. 57.

Schachtförderung mittels Treibscheibe und endlosen Seiles. Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1883, S. 173; Polyt. Journ. 1883, Bd. 249, S. 281.  
 v. Hauer, J. Die Fördermaschinen der Bergwerke. Leipzig 1885. 3. Aufl.

#### Einzelheiten:

Sicherheitshaken für Förderschalen. Prakt. Maschinen-Konstr. 1879, S. 285.  
 Fangvorrichtungen an Bergwerks-Förderungen (preisgekrönte Abhandlung). Verh. d. Ver. zur Beförderung des Gewerbl. in Preußen 1879, S. 345.  
 Seilverbindungen für Förderkörbe. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1879, S. 345.  
 Sicherheitsvorrichtung für Fahrstühle von Busse. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1879, S. 421.  
 Elektrisches Signalsystem für Förderschächte. „Glückauf“ 1879, No. 37; Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1879, S. 308.  
 Die bremsende Fangvorrichtung von Rosenkranz, Gildemeister u. Cie. Polyt. Journ. 1881, Bd. 239, S. 447.  
 Fischer's Ent- und Beladevorrichtung für Förderschalen. Engineering 1882, Juli, S. 10; Engineer 1882, Juni, S. 450.  
 Frantz' hydraulische Schacht-Kaps. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1882, S. 650.  
 Martin's Sicherheitsvorrichtungen an Fahrstühlen. Polyt. Journ. 1883, Bd. 249, S. 200.  
 Kortum's Seilschurz. Iron 1883, Sept. S. 282.  
 Stannah's Fangvorrichtung für Fahrstühle. Revue industrielle 1884, S. 316.  
 Hertrich's Fangvorrichtung für Fahrstühle. Prakt. Maschinen-Konstr. 1885, S. 30.  
 Wasserdruck-Hebe- und Hängestützen bei der Fördermaschinen-Anlage auf Schacht Gouley. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1885, S. 4.  
 Sicherheitsvorrichtungen für Fahrstühle. Revue industrielle 1885, S. 34.  
 Ochwad't's Aufsetzvorrichtung für Fördergestelle. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1885, S. 658.  
 Aufsetzvorrichtung für Fördergestelle von Stauf's. Polyt. Journ. 1885, Bd. 256, S. 343.  
 Fangvorrichtung für Förderschalen von Pelzer. Polyt. Journ. 1886, Bd. 259, S. 158.  
 Kás, A. Neue Sicherheitsvorrichtungen für Fördermaschinen. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. Wien 1892, S. 407.

### III. Die Zimmerung.

In der Regel bedarf es zur gefahrlosen Offenhaltung eines aufgeschlossenen unterirdischen Raumes, namentlich bei den großen Abmessungen eines Tunnels, einer Abstützung des freigemachten Gebirges oder wie der Bergmann sagt: eines „Ausbaues“. Dieser wird bei Tunneln endgiltig durch die Mauerung hergestellt. Bevor diese indessen ausgeführt werden kann, ist in den meisten Fällen, nicht nur im vollen Profil, sondern auch schon bei den einzelnen Profiltteilen (Stollen u. s. w.) ein vorläufiger Ausbau erforderlich, der bei sehr losem oder weichem (schwimmenden) Gebirge der Herstellung des Hohlraumes, dem „Abbau“, in gewissem Sinne sogar vorausgehen muß (vergl. § 59). Dieser vorläufige Ausbau wird mittels Holz, in neuerer Zeit auch unter Zuhilfenahme von Eisen hergestellt. Man nennt ihn im allgemeinen die „Zimmerung“ oder die „Böschung“, den Ausbau mit Eisen speziell die „Eisenrüstung“.

Die Zimmerung ist verschiedenartig, je nach der Art und Ausdehnung des auszubauenden Raumes, sowie auch nach der größeren und geringeren Festigkeit des zu stützenden Gebirges.

In erster Beziehung sind zu unterscheiden: 1. Die Stollenzimmerung. 2. Die Tunnelzimmerung und 3. Die Schachtzimmerung; in Bezug auf die größere oder geringere Festigkeit des zu stützenden Gebirges: 1. Einfache Zimmerung, 2. Zusammengesetzte Zimmerung und 3. Getriebezimmerung, letztere als besondere Art der zusammengesetzten Zimmerung. Die drei erstgenannten Zimmerungsarten sollen nacheinander besprochen und die kennzeichnenden Merkmale ihrer verschiedenen Ausbildungen als

einfache, zusammengesetzte und Getriebezimmerung bei dem Stollenausbau näher erörtert werden. Zunächst aber ist über das Material, das Gezähe, die Holzverbindungen und die eisernen Verbindungsteile einiges zu sagen.

**§ 54. Material und Gezähe.** Zur Zimmerung sind fast alle Holzarten verwendbar, wenn auch der Wert der einzelnen Hölzer ein verschiedener ist. Ihre Dauerhaftigkeit, die beim Bergbau eine große Rolle spielt, kommt bei Tunnelbauten weniger in Betracht, da die Zimmerung hier nur während der Bauausführung, also verhältnismäßig kurze Zeit, bestehen bleibt. Größerer Wert ist auf die Festigkeit des Holzes zu legen, verbunden mit einer gewissen Elastizität, welche die Gefahr eines Bruches rechtzeitig erkennen läßt; ferner auf einen möglichst geraden, astfreien Wuchs, der nicht nur die Widerstandsfähigkeit des Holzes erhöht, sondern auch eine gleichmäßige Zimmerung ohne größere Bearbeitung des Holzes ermöglicht, und der ein festes Anlegen der Zimmerung an das Gestein erleichtert; auch ist für die Verwendbarkeit des Holzes sein spezifisches Gewicht von Einfluß.

Die beiden letzteren Eigenschaften machen die Nadelhölzer: die Fichte, Lärche, Kiefer und Tanne für die Tunnelzimmerung besonders geeignet. Von den Laubhölzern findet die Buche am häufigsten Anwendung. In den meisten Fällen ist für die Wahl des Holzes sein Preis maßgebend. Aus diesem Grunde namentlich findet das Eichenholz, das zwar den Nachteil großer Schwere hat, sonst aber seiner bedeutenden Festigkeit wegen für den Tunnelbau sehr geeignet sein würde, nur in geringem Maße Verwendung.

Selbstverständlich muß das Holz vollständig gesund sein, was sich am besten durch einen frischen, mit der Säge geführten Schnitt erkennen läßt. Die Schnittfläche soll glatt und im Kern, wie an den äußeren Teilen von nahezu gleicher Farbe sein. Ein rauher Schnitt deutet auf weniger festes oder auch krankes Holz. Die Jahresringe sollen fein und möglichst rund sein.

Der Form nach kommt das Holz beim Tunnelbau meistens als Rundholz zur Anwendung. Um dasselbe nicht zu schwächen, wird es gar nicht oder nur zu bestimmten Zwecken sehr wenig beschlagen, dagegen wird es in der Regel abgeborst oder zum mindesten abgefleckt (z. B. bei der Buche). Schnittholz wird nur für bestimmte Zwecke, namentlich für die Lehrbogen und bei der Schachtbauzimmerung für die Bildung der Schachtteilungen, Führungen u. s. w. benutzt. Sehr ausgedehnte Verwendung finden Bretter und Bohlen (bergmännisch „Pfähle“ genannt), sowie auch Schwarten.

Der Ankauf des Rundholzes geschieht am besten in ganzen Stämmen verschiedener Stärke, um es je nach Bedarf zerteilen und den Abfall an kürzeren Stücken möglichst gering halten zu können; für die Bretter und Bohlen giebt man dem Lieferanten den Verhältnissen entsprechend verschiedene bestimmte Maße auf.

Das Gezähe, das bei der Gruben- bzw. Tunnelzimmerung zur Benutzung kommt, entspricht im allgemeinen dem Werkzeuge für die gewöhnliche Zimmerung, nur pflegen die Abmessungen mit Rücksicht auf den beschränkteren Raum geringer zu sein. Die Form ist in den einzelnen Gegenden verschieden. Als Hauptgezähe sind die „Axt“, das „Grubenbeil“ (auch „Kaukamm“ genannt) und die Säge zu nennen. Der kennzeichnende Unterschied zwischen den beiden erstgenannten Werkzeugen besteht in der Schneide, die bei der Axt zwei-, bei dem Grubenbeil nur einseitig zugeschärft ist. Von dem Hilfsgezähe ist das wichtigste das „Treibefäustel“, ein schwerer Hammer an langem Stiel, der zum Antreiben der Hölzer, d. h. zum Hineinzwängen derselben in die für sie

bestimmte Lage dient. Daneben kommen das „Handfäustel“, ein kleiner Hammer, der Holzmeißel, der Bohrer, die Schnur und das Lot u. s. w. zur Anwendung.

**§ 55. Holzverbindungen.** Die Verbindungen der Zimmerungshölzer untereinander soll eine möglichst feste, aber einfache sein. Kompliziertere Verbindungen sind in den dunkeln, engen Räumen nicht nur schwierig herzustellen, sondern sie erschweren auch die Auswechslung der einzelnen Hölzer, die sehr häufig, namentlich bei der Ausführung der Mauerung notwendig wird und sich daher möglichst leicht ausführen lassen muß. Außerdem machen kompliziertere Verbindungen Einschnitte in die Hölzer notwendig, die wegen der damit verbundenen Schwächung die Tragfähigkeit derselben, auf die es bei der bergmännischen Zimmerung wesentlich ankommt, vermindern. Es muß daher an eine gute Holzverbindung vor allem die Forderung gestellt werden, daß die Hölzer in ihrer vollen Stärke zum Tragen gelangen. Schliesslich sind kompliziertere Verbindungen bei der bergmännischen Zimmerung auch nicht notwendig, da unter dem starken Drucke, den die Hölzer meist aufzunehmen haben, die einfachen Verbindungen durch die erhebliche Reibung an den Berührungsstellen genügende Sicherheit gegen Verschiebungen gewähren.

Die Verbindungen der Hölzer geschehen beim Tunnelbau durch:

1. Einfaches Aneinandersetzen, wobei ein Holz mit der Stirnfläche gegen die Langseite eines anderen Holzes gesetzt wird. Man unterscheidet dabei den geraden Ansatz, bei dem ein Holz sich mit stumpfer Stirnfläche auf das Gestein oder ein anderes Holz stützt (Fig. 128), den Eckenansatz, wie ihn das Holz *a*, und den spitzen Ansatz, wie ihn das Holz *b* in Fig. 129 zeigt.

2. Einsetzen, was wegen der damit verbundenen Holzschwächung selten und nur da vorkommt, wo eine seitliche Verschiebung des einzusetzenden Holzes *a* (Fig. 130) befürchtet wird.

3. Stumpfes Zusammenstoßen, eine Verbindung, die beim Tunnelbau häufig Anwendung findet. Sie besteht, wie Fig. 131 zeigt, darin, daß zwei Hölzer mit ihren schräg geschnittenen Hirnflächen (den „Schmiegen“) unter einem stumpfen Winkel gegeneinander stoßen.

4. Einkehlen oder Zusammenscharen, bei dem der Kopf des einen Holzes *a* ausgerundet oder ausgekehlt wird, um unter einem rechten Winkel mit dieser „Schar“ das entsprechende Rundholz *b* zu umfassen (Fig. 132). Bei Anwendung der Scharverbindung an beschlagenem Holze wird die Schar scharf ausgeschnitten und heißt in diesem Falle das „Froschmaul“ (Fig. 133).

5. Zusammenblatten. Diese Verbindungsweise stellt sich, je nachdem die an ihren Enden zu überblattenden Hölzer in gerader Linie oder winkelig zu einander in senkrechter Ebene, oder endlich winkelig zu einander in wagerechter Ebene liegen, bzw. als „einfache Überblattung“ (Fig. 134), ferner als sogenannte „Thürstockverbindung“ (Fig. 135) oder als „Eckverblattung“ (Fig. 136) dar. Die einfache Überblattung hat den Zweck, Hölzer, die wegen des nach und nach bewerkstelligten Abbaues nicht in einer Länge eingebaut werden können, miteinander zu verbinden. Die Thürstockverbindung findet bei der Stollenzimmerung ausgedehnte Anwendung, während die Eckverblattung zum Verbande der Hölzer bei der Schachtzimmerung dient. •

Jede dieser drei Verbindungen kommt in verschiedenen Formen vor, deren Anwendung lediglich auf Gewohnheit beruht. Bei den Figuren ist jedesmal die üblichste, einfachste und zweckmäßigste Form gewählt worden.

Fig. 128 bis 137. Holzverbindungen.

Fig. 128.



Fig. 129.

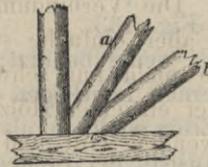


Fig. 130.

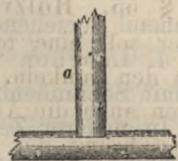


Fig. 131.

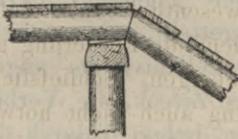


Fig. 132.



Fig. 133.



Fig. 134.



Fig. 135.

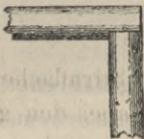


Fig. 136.



Fig. 137.



Die beim Zusammenblatten durch die Zurichtung der Hölzer an deren Enden entstehenden Flächen führen bestimmte Bezeichnungen. Die Fläche *ab* (Fig. 137) heißt der Kopf oder die Stirn, die Fläche *cb* das Gesicht oder die Platte, die Fläche *cd* das Eingeschneide.

6. Das Zusammenzapfen. Die Zapfenverbindung kommt nur an beschlagenem Holze vor und ist schon aus diesem Grunde bei der Tunnelzimmerung nur in wenigen Fällen anwendbar, so z. B. bei hölzernen Lehrbögen und bei größeren über Tage abgebundenen Zimmerungskonstruktionen. In letzterem Falle sollen die Zapfen weniger zur festen Verbindung als zur Erleichterung der Aufstellung dienen; sie sind daher nur sehr kurz, um möglichst wenig Schwächung durch die Zapfenlöcher zu veranlassen. So pflegen z. B. die Bocksäulen *a* in Fig. 19, Taf. II in die Schwellen *e* eingezapft zu werden.

§ 56. Eiserne Verbindungsteile. Von den eisernen Verbindungsteilen, die im Tunnelbau bei der Zimmerung zur Verwendung kommen, sind folgende hervorzuheben:

1. Klammern oder Klammhaken. Diese bei allen Zimmerarbeiten unentbehrlichen Befestigungsmittel finden in der Tunnelzimmerung eine sehr ausgedehnte Anwendung, teils zur größeren Sicherheit der Holzverbindungen, teils beim Aufstellen der Zimmerung als vorläufiges Befestigungsmittel, sowie auch als Handhaben beim Transporte der Hölzer. Nach Rziha ist der Bedarf an Klammern bei der Zimmerung für 10 cbm Tunnelraum wie folgt zu schätzen: bei sehr festem Gebirge auf 0,6 kg, bei festem auf 1,6 kg, bei gebrächem auf 2,3 kg, bei mildem auf 3,3 kg, bei rolligem auf 4,7 kg, bei schwimmendem Gebirge auf 5,9 kg.

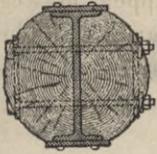
2. Nägel. Sie werden in allen Gröfsen verwandt, namentlich zur Befestigung der Bühnen, Laufbretter, Schachtverschalungen u. s. w. Es erscheint indessen im allgemeinen unzweckmäfsig, die Anwendung der Nägel auch auf die Verstärkung der oben besonders aufgeführten Holzverbindungen auszudehnen.

3. Zugbänder und Ringe kommen nur in einzelnen Fällen zur Anwendung; erstere z. B. beim Aufhängen der Schachtzimmerung (Fig. 23, Taf. II), letztere bei Hölzern, deren Inanspruchnahme ein Aufspalten befürchten läßt, wie z. B. bei der mit Froschmaul versehenen Strebe *a* in Fig. 133.

4. Laschen werden ebenfalls wenig benutzt; sie kommen fast nur in Verbindung mit Schraubenbolzen bei hölzernen Lehrbögen vor.

In neuerer Zeit findet das Eisen vielfach als tragender Bauteil der Zimmerung Verwendung; so namentlich beim Ausbau der Stollen. Für die dabei nötig werdenden Verbindungen zwischen Holz und Eisen, bzw. zwischen den einzelnen Eisenteilen, sind

Fig. 138.



in Fig. 139 bis 142, S. 159 einige Beispiele gegeben. Ferner ist in Fig. 138 der Querschnitt eines Trägers dargestellt, wie er bei dem später zu beschreibenden Menne'schen Tunnelbausystem angewandt wird. Seine Armierung mit Holz hat hier den Zweck, die Verbindung der Zimmerung mit dem Träger zu erleichtern, indem dadurch die Anwendung der einfachen Holzverbindungen ermöglicht wird.

### A. Die Stollenzimmerung.

**§ 57. Einfache Stollenzimmerung.** Ein in festem Gestein aufgefahrener Stollen bedarf für gewöhnlich keinerlei Ausbaues; es kommen indessen auch in solchem Gestein durch Risse oder Lagerungen, sowie infolge des Sprengens Ablösungen vor, die eine stellenweise Abstützung notwendig machen. Zuweilen reicht hierzu die „einfache“ Zimmerung aus. Sie besteht aus einzelnen für sich allein wirkenden Hölzern, die entweder den Druck in der Richtung ihrer Achse als Säulen oder rechtwinkelig gegen dieselbe als Balken aufnehmen. Im Bergbau nennt man diese Hölzer allgemein „Stempel“; im Tunnelbau gilt diese Bezeichnung nur für die lotrechten Hölzer dieser Art, während die wagerechten Hölzer unter der Stollenfirste den Namen „Kappe“ führen.

Die einfachen Stempel sind namentlich beim Bergbau in Kohlenflötzen gebräuchlich, wo sie in Reihen aufgestellt oft die einzige Zimmerung in weiten Abbauen bilden. Beim Stollenbau kommen sie seltener, meist nur als vorläufige Abstützung der Firste, oder auch zur Stützung einzelner Ablösungen der Seitenfläche vor. Einfache Kappen dienen zur Sicherung schalenförmiger Ablösungen in der Firste des Stollens; sie werden unmittelbar unter der letzteren (Fig. 7 u. 8, Taf. II) zwischen den „Seitenstößen“ eingespannt. Es wird zu dem Zwecke in jedem Seitenstoß ein Loch ausgebrochen, von denen das eine seitlich ausgeprägt wird. Die Kappe *k* wird nun zunächst mit dem einen Ende in das runde Loch *a*, das sogenannte „Bühnloch“, eingesetzt und darauf in das ausgeschrägte Loch *b*, den sogenannten „Anfall“ oder „Einstrich“, mit dem Treibefäustel eingetrieben.

**§ 58. Zusammengesetzte Zimmerung.** In den meisten Fällen hat man nicht nur einzelne Stellen des Gebirges gegen das Hereinbrechen zu schützen, sondern ausgedehntere Flächen. Es reicht dann die Abstützung durch einzelne Hölzer nicht mehr aus, man muß vielmehr zu der zusammengesetzten Zimmerung übergehen, bei der mehrere in Verband gebrachte Hölzer den Druck gemeinsam aufnehmen. Bei dieser unterscheidet man „Haupthölzer“ als die eigentlichen Träger des Druckes und „Ausfüllungshölzer“ („Verzugs- oder Füllungshölzer“, „Pfähle“), die den Raum zwischen den Haupthölzern und dem Gebirge ausfüllen und den Druck des letzteren auf die Haupthölzer übertragen.

Die Verzimmerung ist naturgemäß verschieden, je nachdem ein, zwei, drei oder alle vier Flächen eines Stollenraumes einer Verwahrung bedürfen. Die Sicherung einer einzelnen Fläche kommt fast nur hinsichtlich der Firste vor. Dieser einfachste Fall soll zunächst besprochen werden.

1. Der Firstverzug. Bei nicht ganz fester Firste wird die Firstverzimmerung oder der sogenannte „Firstverzug“ angewandt (Fig. 9 u. 10, Taf. II). Zwischen den festen Seitenstöfsen werden, wie bei der einfachen Zimmerung, Kappen *k* eingebüht, und zwar in ziemlich kurzen Abständen voneinander. Über die Kappen werden die Füllungshölzer *p*, meist „Pfähle“ genannt (in Österreich führen dieselben die Bezeichnung „Laden“), aus Bohlen, Schwarten, Stangenhölzern, im Bergbau auch vielfach aus gespaltenen Hölzern bestehend, geschoben, die häufig über mehrere Kappen hinweggreifen und entweder auf ihnen stumpf voreinander stoßen oder sich an den Enden überdecken. Die Pfähle werden entweder hart aneinander oder mit größeren oder geringeren Zwischenräumen verlegt, je nach der Größe des Firstdruckes, nach der Stärke der Pfähle und nach der Entfernung der Kappen voneinander.

Dabei ist es durchaus notwendig, daß der über den Füllungshölzern befindliche Raum mit Bergen fest verpackt wird, um die Firste überall zu stützen und zu vermeiden, daß einzelne Teile des Gesteins wegen mangelnder Stützung sich plötzlich lösen und auf die Zimmerung herabfallen. Diese Verpackung nennt man den „Versatz“. Er spielt beim gesamten Tunnelbau eine wesentliche Rolle. Die unterlassene oder ungenügende Ausführung desselben hat schon häufig zu Brüchen Veranlassung gegeben.

Ist das Gestein des Seitenstofses an der einen oder anderen Stelle nicht fest genug, um den Kappen ein sicheres Auflager in dem Bühnlöche zu gewähren, so unterstützt man an diesen Stellen die Kappen an den Enden mit einem Stempel *s* (Fig. 11).

2. Die Thürstockzimmerung. Sind außer der Firste noch der eine oder beide Seitenstöfse oder gar auch die Sohle des Stollens zu sichern, dann ist die „Thürstockzimmerung“ zur Anwendung zu bringen. In letzterem Falle besteht sie aus einem geschlossenen vierseitigen Rahmen, dem sogenannten „Thürstock“ (Fig. 12) (auch das „Stollenzimmer“ oder „Stollengevier“ genannt). Dabei heißt das Holz *k* „die „Kappe“, die Hölzer *s* „Stempel“, „Thürstocksäulen“, „Säulen“ oder „Ständer“, *g* die „Grundsohle“ oder „Schwelle“.

Ist der eine Seitenstofs fest und bedarf außer der Firste nur der andere einer Sicherung, dann genügt eine Thürstockzimmerung, die aus einer in den festen Stofs eingebühten Kappe und einem Stempel besteht.

Zum Schutze der Firste und beider Seitenstöfse besteht der Thürstock aus Kappe und zwei Stempeln (Fig. 15). Wenn dabei das Gestein der Sohle zwar fest genug ist, um an sich keiner besonderen Sicherung zu bedürfen, aber doch nicht geeignet, den Stempeln durch Bühnlöcher eine genügende Sicherheit gegen seitliches Ausweichen zu gewähren, oder wenn auch ein Einsinken derselben zu befürchten ist, dann wendet man auch hier schon den geschlossenen Thürstock an, indem man die Stempel auf eine Schwelle stellt. Letztere kann man in diesem Falle dadurch entbehrlich machen, daß man die Thürstocksäulen zur Verbreiterung des Auflagers auf ein Bohlenstück, einen sogenannten „Fußpfahl“ *f* aufsetzt und sie nötigenfalls durch eine Spreize gegeneinander absteift. Die letztere dient dann gleichzeitig, wie im anderen Falle die Grundsohle, als Schwelle für die Förderbahn.

Um bei stärkerem Drucke die Thürstöcke gegen Verschieben in der Richtung des Stollens zu sichern, spannt man zwischen ihnen in der Nähe der Ecken schwache

Hölzer, sogenannte „Sprengbolzen“  $b$  (Fig. 12 u. 13) ein; erforderlichenfalls stützt man die Thürstöcke auch durch Schubstreben ab, die man an einzelnen Stellen zwischen den Stempeln gegen die Kappe einbaut. Der erste Thürstock am Stollenmundloche ist in der Regel mit Schubstreben versehen.

Ist der Stollen sehr breit und der Firstdruck der Art, daß die Kappen noch einer Unterstützung bedürfen, dann legt man unter die Kappen Langhölzer, „Unterzüge“, die man durch Stempel nach Bedarf gegen „Langschwellen“ abstützt. Diese Bauart ist der dadurch verursachten Raumversperrung wegen indessen nur dann zulässig, wenn von vornherein hierauf bei Anordnung der Förderbahnen im Stollen Bedacht genommen worden ist. In der Regel muß man die durch unerwarteten Druck gefährdete Firste mittels Einbauens von Hilfsthürstöcken, die man nötigenfalls dicht aneinander (oder wie der Bergmann sagt „Mann an Mann“) setzt, zu sichern suchen.

Der Verzug und der Versatz werden bei der Thürstockzimmerung in festerem Gebirge in gleicher Weise, wie bei der Firstzimmerung hergestellt, selbstverständlich aber nach Erfordernis entweder nur auf einen oder auf beide Seitenstöfse ausgedehnt. Das Verziehen oder vielmehr die „Abdeckung“ der Sohle, sowie der Verzug des Ortstofses kommen wegen des verhältnismäßig geringen Querschnittes eines Stollens nur in seltenen Fällen und zwar bei schwimmendem Gebirge vor, wo die weiterhin zu besprechende Getriebezimmerung notwendig wird.

Die erwähnte Art des einfachen First- und Seitenverzuges mit unmittelbar übereinanderliegenden oder gegeneinander stoßenden Pfählen ist indessen nur dann anwendbar, wenn die Standfähigkeit des Gebirges gestattet, ihn erst nach Aufschließung des nötigen Raumes — d. h. einer Länge des Stollens so groß, wie der Abstand zweier Thürstöcke beträgt — herzustellen, da es früher nicht möglich ist, nach Art des einfachen Verzuges die Pfähle hinter den Thürstöcken anzubringen. Bei mildem Gebirge ist dies nicht zulässig, hier muß vielmehr die Abstützung, namentlich der Firste, gleichen Schritt halten mit dem Fortschritte des Stollenabbaues. Das geschieht durch die sogenannte „Verpfählung“ (Fig. 13, Taf. II). Dabei werden die Pfähle  $p$  auf den Kappen  $k$  bzw. an den Thürstöcken derart schräg „angesetzt“, daß sie auf dem demnächst zu stellenden Stollenzimmer nicht unmittelbar aufliegen, sondern über demselben, außer für die nächsten Pfähle, noch Platz lassen für die „Pfändung“. Diese besteht aus einem die Pfähle quer untergreifenden Brett  $a$ , dem sogenannten „Pfandblatt“ oder „Pfandlatte“, und aus Keilen  $c$ , „Pfandkeilen“, mittels denen die Pfähle fest an das Gebirge angepreßt werden. Das Pfandblatt hat den Zweck, die Unterstützung eines jeden einzelnen Pfahles durch Keile überflüssig zu machen und die Auswechslung einzelner Keile und damit das Anstecken und Vortreiben der Pfähle für ein neu abzubauenendes Feld zu erleichtern. Der Vorgang bei der Verpfählung ist aus Fig. 13 ersichtlich. Dabei geschieht die Abstützung der Pfähle in dem ersten Abschnitt des neuen Vortriebes durch einen Keil  $c$ , bei dem weiteren Fortschritte der Arbeit nötigenfalls durch ein Hilfszimmer  $d$ , das in den meisten Fällen nach dem Einbau des eigentlichen Gevierts wieder entfernt werden kann.

Die Thürstockzimmerung mit oder ohne Sprengbolzen findet nicht allein beim Tunnelbau, sondern auch bei Herstellung von Entwässerungsstollen u. dergl. ausgedehnte Anwendung.

3. Stollenausbau in Eisen. In neuerer Zeit verwendet man sehr häufig zu den Thürstöcken mit Vorteil statt des Holzes Eisen in verschiedener Form, als Röhren, als besonders zu diesem Zweck gewalztes Eisen, sowie namentlich beim Tunnelbau auch

in Gestalt alter ausgewechselter Eisenbahnschienen. Rziha gebührt das Verdienst, zuerst und zwar im Jahre 1862 beim Bau des Naenser Tunnels die Thürstöcke aus Bahnschienen hergestellt zu haben, welches Beispiel sowohl beim Tunnelbau, als im Bergbau sehr bald vielfache Nachahmung gefunden hat. Der Vorteil der eisernen Thürstöcke besteht namentlich darin, daß sie weit weniger Raum versperren und daher an Gewinnungsarbeit gespart werden kann. Bei längeren Tunneln, die häufige Wiederverwendung der Thürstöcke ermöglichen, stellen sich auch die Kosten oft erheblich billiger.

Fig. 17, Taf. II stellt den im Naenser Tunnel zur Anwendung gekommenen Thürstock aus Bahnschienen dar. Die Schienen waren dabei derart gebogen, daß ihr Kopf nach den Stößen zu lag. Am Zusammenstoß der Schienen waren sie mit gewöhnlichen Schienenlinsen verbunden. Die in einem Kreisbogen gekrümmte Kappe erwies sich gegenüber geraden Kappen als bedeutend zweckmäßiger, weil sie erheblich tragfähiger ist.

Andere Beispiele für die Verwendung alter Bahnschienen zu Thürstöcken sind in den Fig. 16 u. 18, Taf. II dargestellt. Bei der ersteren Bauart ist nur die Kappe aus einer Schiene gebildet, während die Stempel und Schwellen aus Holz bestehen; dabei ist die Kappe auf den Stempeln mittels Holzkeilen befestigt (Fig. 139 u. 140). In Fig. 141 u. 142 ist eine Verbindung der Schienenkappe mit Stempeln, die bei einer anderen Bauart ebenfalls aus Schienen bestehen, dargestellt. Im Ender Tunnel (Düsseldorf-Hörde) wurden Thürstöcke ohne Sohlenschwelle verwandt, die aus einer Schiene von 7,22 m Länge gebildet waren (Fig. 18, Taf. II). Diese wurden auf Fußpfähle aufgesetzt und auf der Sohle durch die Bahnschwellen mit Zuhilfenahme von Keilen verspreizt.

Fig. 139 u. 140.

*Kappe aus Eisen.*

Fig. 139. Fig. 140.

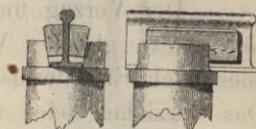
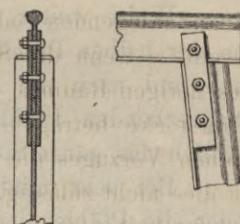
Fig. 141 u. 142. *Eiserne Stempel und Kappe.*

Fig. 141. Fig. 142.

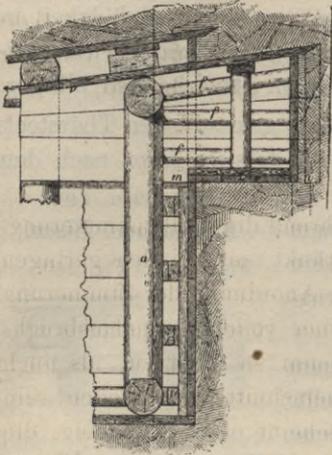


**§ 59. Die Getriebezimmerung beim Stollenbau.** Die Getriebezimmerung ist in der Bauart der oben besprochenen Verpfählung ähnlich — sie unterscheidet sich von dieser aber wesentlich in der Ausführung. Während die Verpfählung der Herstellung des freien Stollenraumes nach geführt wird, wobei in den meisten Fällen die Pfandkeile ganz gelöst werden können, um die Pfähle vorzuschieben, besteht das Wesen der Getriebezimmerung — deren Anwendung in losem und schwimmendem Gebirge: Gerölle, Kies, Treibsand, aufgeweichtem Lehm u. s. w. notwendig wird — darin, daß die zur Stütze der First und der Stöße bestimmten Pfähle zunächst in das Gebirge eingetrieben werden und daß danach erst unter dem Schutze dieser Pfähle der Abbau des mit einem dichten Verzuge zu versehenen Ortstosses in kleinen Teilen geschehen kann. Der Vezug des Ortstosses besteht aus wagerecht gelegten Brettern  $z$  (Fig. 14, Taf. II), den sogenannten „Zunachebrettern“. Diese werden mit einzelnen Hölzern  $y$ , den „Anleghölzern“, quer überdeckt, die mit Sprengbolzen  $e$  gegen die Thürstöcke abgestützt werden.

Der Arbeitsvorgang bei der Getriebezimmerung ist folgender: Ist der Stollen um eine ganze Pfahllänge vorgetrieben und der letzte Thürstock  $a$  (Fig. 143) hart vor dem glatt vorgezogenen Ortstosse aufgestellt, dann werden durch die Pfändung über dem Thürstock  $a$ , dem „Ansteckzimmer“, in der First und an den Seitenstößen die neuen, an dem Kopfe zugeschärften Pfähle  $p$  angesteckt. Diese bilden in ihrer Gesamtheit bei der durch die Pfändung veranlaßten schrägen Lage ein Trapezoid und es werden

daher die Eckpfähle *h* trapezförmig zugerichtet (Fig. 14<sup>a</sup>, Taf. II). Das Anstecken und Vortreiben der Pfähle beginnt mit den Eckpfählen. Um sie in das Gebirge einsetzen zu können, müssen zunächst entsprechende Öffnungen aus dem obersten Brett des Ortverzuges ausgestemmt werden, durch die die Eckpfähle der Firste und der Ulmen (vergl. Note 5, S. 13) durchgesteckt und gleichmäÙig mit schweren Treibefäusteln in das Gebirge 0,15 bis 0,3 m tief, je nach seiner Beschaffenheit, eingetrieben werden.

Fig. 143. *Getriebezimmerung.*



Nach den Eckpfählen werden in gleicher Weise nacheinander die sämtlichen Firstpfähle angesetzt und eingetrieben. Sodann wird das oberste Zumachebrett des Ortstosfes entfernt und das Gebirge an dieser Stelle herausgenommen, um danach ein neues Zumachebrett sofort an das vorgetriebene Ort anzudrücken und vorübergehend mit Sprengbolzen *f* gegen den Thürstock abzustützen. Es wird dann das zweite Ortbrett fortgenommen und es werden sofort die oberen Ulmpfähle vorgetrieben, das Gebirge weggeräumt und ein neues Zumachebrett vorgelegt und abgebolzt. Hierauf werden die Firstpfähle und die beiderseitigen oberen Pfähle der Seitenstöße aufs neue vorgetrieben und sodann die oberen Ortbretter in der beschriebenen Weise weiter vorgerückt, bis die entstandene Stufe in dem Ortstosfe eine Tiefe von der halben Pfahllänge (in der Regel 0,6 bis 0,9 m) erreicht hat. Alsdann werden nach und nach die sämtlichen übrigen Ortbretter unter gleichzeitigem Vortriebe der entsprechenden Pfähle der Seitenstöße auf die gleiche Länge vorgebaut, sodafs allmählich das ganze Stollenort um eine halbe Pfahllänge vorgeschritten ist.

Bei sehr mildem Gebirge muß auch die Stufe *mn* (Fig. 143) abgedeckt und gegen die Pfähle abgebolzt werden, um das Emporquellen des Gebirges zu verhindern. Die an dieser Stelle zur Abdeckung benutzten Bretter *t* nennt man die „Stufenbretter“. Es wird auch in diesem Falle im allgemeinen in der oben angegebenen Weise mit dem Abbau des Ortes vorgegangen, nur wird hier bei dem Vorbau eines Ortbrettes nicht die ganze Tiefe der Stufe in einem Male, sondern allmählich in den Breiten der einzelnen Stufenbretter weggenommen.

Nach dem Vortriebe des Stollenortes um eine halbe Pfahllänge muß, bevor mit dem Abbau weiter vorgegangen werden kann, zur Abstützung der Pfähle ein neuer Thürstock *h* (Fig. 14, Taf. II), ein sogenannter „Hilfsthürstock“ oder ein „Mittelgevier“ eingebaut werden. Dasselbe schließt ringsum an die Pfähle an und hat demgemäß gröÙere Abmessungen als der Hauptthürstock oder das Ansteckzimmer. Nach dem Einbau des Mittelgeviere beginnt der Vortrieb der Pfähle und der Abbau des Stosfes von neuem in der oben beschriebenen Weise, bis das Stollenort um eine ganze Pfahllänge vorgerückt ist und der Einbau eines neuen Hauptthürstockes bewirkt werden kann.

In schwimmendem Gebirge kann es vorkommen, dafs das Gebirge sogar durch die Fugen der Zimmerung eindringt und man genötigt ist, die Fugen mit Moos u. s. w. zu dichten. Selbstverständlich muß dann auch für Ausfüllung des Raumes zwischen den Pfandkeilen durch Stroh und Heu gesorgt werden. In solchen Fällen ist der Abbau des Ortstosfes mit ungeheuren Schwierigkeiten verbunden und kann nur unter Aufwendung außerordentlicher Sorgfalt und Geschicklichkeit von Seiten der Arbeiter ausgeführt werden. —

In neuerer Zeit ist bei einzelnen Stollen-, Tunnel- und Schachtbauten in schwimmendem Gebirge auch das sogenannte Gefrierverfahren mit Erfolg zur Anwendung gekommen, worüber Näheres aus den unten vermerkten Quellen zu entnehmen ist.<sup>52)</sup> Es ist dies Verfahren in neuester Zeit indessen durch die Verwendung von Druckluft in Verbindung mit sogenannten „Schilden“ vollständig verdrängt. Wir gehen auf diese Bauweise im weiteren Abschnitt der vorliegenden Arbeit: „Tunnelbauten mit Verwendung besonderer Hilfsmittel“ näher ein, worauf wir hier verweisen (s. §§ 81 bis 86).

## B. Die Tunnelzimmerung.

**§ 60. Das Eigenartige der Tunnelzimmerung.** Während die Stollenzimmerung, wie wir gesehen haben, sich auf wenige Konstruktionen beschränkt und bei den geringen Abmessungen eines Stollens eine große Verschiedenheit in der Anordnung der Zimmerung nicht vorkommen kann, lassen die großen Abmessungen eines vollen Tunnelausbruchs viele verschiedenartige Konstruktionen für seine Abstützung um so mehr zu, als auch die Art des Abbauens oder der Herstellung des vollen Querschnitts verschieden sein kann. Namentlich mit Rücksicht auf letzteren Umstand erscheint es zweckmäßig, die Besprechung der einzelnen zur Anwendung kommenden Zimmerungsarten dem folgenden Abschnitte über den eigentlichen Tunnelbau vorzubehalten, und soll demgemäß an dieser Stelle die Tunnelzimmerung nur insoweit erörtert werden, als es zu ihrer Kennzeichnung und zur Erläuterung einiger Bezeichnungen wünschenswert ist.

Im allgemeinen sind für die Zimmerung im Tunnel zweierlei Anordnungen möglich:

1. Es sind entweder die Haupthölzer, die den Verzug oder die Verpfählung unmittelbar aufnehmen, d. h. also die eigentlichen Träger, wie bei der Stollenzimmerung rechtwinkelig zur Achse des Tunnels gerichtet und dementsprechend die Pfähle in der Längsrichtung des Tunnels auf denselben gelagert, oder
2. es liegen die tragenden Haupthölzer gleichlaufend mit der Tunnelachse, während die Pfähle rechtwinkelig zu ihr gerichtet sind.

Im ersteren Falle treten Querträger, im letzteren Längsträger auf. Die Querträger sind namentlich in der österreichischen Tunnel-Bauweise als sogenannte „Sparrenzimmer“ vertreten, wonach diese Anordnung der Zimmerung die Sparrenzimmerung genannt wird. Die Längsträger führen verschiedene Bezeichnungen: Die oberen heißen vorwiegend „Kronbalken“, die unteren „Wandruten“; als allgemeinere Bezeichnung ist für diese Hölzer in Deutschland der Name „Joche“, in Österreich: „Barren“ üblich. Die Zimmerung mit Längsträgern soll hier „Jochzimmerung“ genannt werden.

**§ 61. Die Sparrenzimmerung.** Ein aus Holz hergestellter, dem Tunnelprofil sich anschließender Querträger muß bei der abgerundeten Form eines Tunnelprofils aus mehreren Hölzern zusammengesetzt sein. Diese stoßen stumpf gegeneinander und bilden ein mehrseitiges Sprengwerk, das „Sparrenzimmer“, wie es in Fig. 20, Taf. II

<sup>52)</sup> Poetsch. Gefriergründung. Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 461; 1884, S. 287. — Derselbe. Entwicklung des Gefrierfahrens beim Schachtabteufen. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1885, S. 408; 1889, S. 1125. — Anwendung des Gefrierfahrens beim Bau eines Tunnels in Stockholm. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 537; 1886, S. 7 u. 38. — Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. Bd. 32 bis 34, 37 u. 41. — Bull. de la soc. de l'ind. min. 1895, Lief. 11, S. 274 ff., vergl. auch Kap. VI, Grundbau, I. Band, 3. Abt. dieses Handbuchs (3. Aufl.), S. 24. — Brennecke. Der Grundbau. Berlin 1887. S. 307.

dargestellt ist. Es dient zur Stütze des oberen Profilitheiles eines Tunnels und wird meistens aus 5, seltener aus 3 oder 7 Hölzern gebildet. Das oberste Holz *a* heißt die „Kappe“, die anschließenden Hölzer *b* die „Sparren“, die unteren *c* die „Sparrenfüße“. In den meisten Fällen erfordert das Sparrenzimmer eine weitere Abstützung durch andere Hölzer. Diese mit dem Sparrenzimmer in der Regel in einer Ebene liegenden Hölzer bilden mit ihm zusammen ein „Gespärre“; die unterstützende Zimmerung für sich allein (ohne das Sparrenzimmer) nennt man das „Bockgespärre“. Fig. 19, Taf. II stellt ein Gespärre des österreichischen Bausystems dar, wie es sich allmählich für großen Druck herausgebildet hat.

Durch die aus drei Teilen bestehende Mittelschwelle *e* wird das Gespärre in ein Ober- und Untergespärre geteilt. In beiden treten als Hauptstützen die mittleren Säulenpaare *a, a* und *b, b* auf. Sie bilden den „oberen“ und „unteren“ „Sparrenbock“ und heißen obere und untere „Bocksäulen“. Die Sparren und Sparrenfüße werden durch rechtwinkelig dazu gerichtete „Streben“ gegen die oberen Bocksäulen abgesteift, dabei setzen sich die oberen Streben auf einen sogenannten „Strebenfuß“ *f*. Die Strebe *g* heißt die „Ixestrebe“ (nach dem Winkel, den die Sparrenfüße mit dem Sparren bilden, dem sogenannten Ixenwinkel). Das Strebenpaar, das zur Unterstützung der Kappenmitte dient, nennt man den „Kappenbock“, er stützt sich auf „Strebenfüße“ oder „Strebensäulen“ *i*. Für das Untergespärre pflegt man auch bei dem österreichischen Bausysteme die Sparrenzimmerung nur selten beizubehalten. Man nennt die Sparren in diesem Falle „Strossensparren“, auch „Anlegehölzer“. In der Regel wendet man hier Langhölzer *n* an, die wie die Anlegehölzer mit „Spreizen“ *k* gegen die unteren Bocksäulen abgestützt werden. Zwischen den Bocksäulen spannt man „Spannriegel“ *l* ein. Bei starkem Druck setzt man die Spreizen nicht unmittelbar gegen die Bocksäulen, sondern stellt zu ihrer Unterstützung daneben noch schwächere Hilfssäulen auf, die die Spreizen aufnehmen.

Als Längenverband dienen:

1. Sprengbolzen, die zwischen den Sparrenzimmern und den Bocksäulen der benachbarten Gespärre eingespannt werden.

2. Langhölzer, die durch mehrere Gespärre hindurchgreifen. Sie führen je nach ihrer Lage verschiedene Namen. Die Langhölzer *d* auf den oberen Bocksäulen, die die Kappen untergreifen, heißen „Kappenunterzüge“, diejenigen (*o*) auf den unteren Bocksäulen die „Schwellenunterzüge“. Die Langhölzer *p* unter den Sparren und Sparrenfüßen, die durch die Streben abgestützt sind, nennt man „Sparrenwandruten“, diejenigen (*q*), auf die sich die Sparrenfüße unmittelbar aufsetzen, die „Fufswandruten“. „Laufruten“ nennt man die Hölzer *m*, die den Ixestreben als Fußpunkt dienen. Die Langhölzer *n* des Untergespärres, die die Querverpfählung unmittelbar abstützen, führen den Namen „Ulmwandruten“.

3. Schubstreben, die namentlich den Zweck haben, den von der „Brust“ oder dem Ortstofse ausgehenden Gebirgsdruck aufzunehmen.

**§ 62. Die Jochzimmerung.** Das Wesen dieser Zimmerung ist bereits oben gekennzeichnet worden. Das beste Beispiel dafür bietet die englische Tunnel-Bauweise, Fig. 1 bis 20, Taf. V.

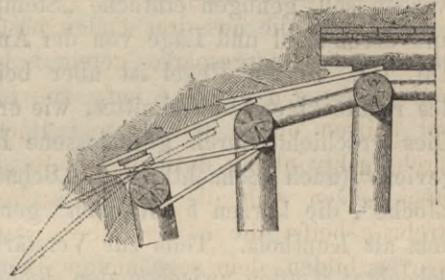
Bei dieser liegen die Langhölzer *l* (Joche oder Kronbalken, s. Fig. 9, Taf. V), die die quer gegen die Tunnelachse gerichtete Verpfählung unmittelbar stützen, mit ihrem einen Ende auf der fertigen Tunnelwölbung, mit dem anderen Ende auf einem unmittelbar vor dem Ortstofse aufgestellten Gespärre, das nötigenfalls gleichzeitig dazu dient, den Verzug

des Ortstosses oder der Brust abzustützen. Gegeneinander sind die Joche durch Sprengbolzen s abgebolzt. Die Zimmerung wird dadurch doppelt wirkend, indem einmal die Sprengbolzen für sich als Sprengwerk, andererseits die Joche als Träger in gewöhnlichem Sinne wirken.

Die Anwendung von Jochen setzt bei solchem Gebirge, bei dem die Zimmerung mit dem Fortschritte der Ausbruchsarbeiten gleichen Schritt halten muß, eine andere Angriffsweise des Abbaues voraus, als die Anwendung der Sparrenzimmerung. Bei dieser erfolgt der Abbau nämlich in der Richtung der Tunnelachse und entspricht dem-

gemäß die Herstellung der Verpfählung ganz der bei der Stollenzimmerung üblichen; dagegen macht die quer gegen die Tunnelachse gerichtete Lage der Pfähle bei der Jochzimmerung einen Abbau nach der Seite notwendig. Die Ausführung der Verpfählung selbst ist hier wegen ihrer Lage in einer cylindrischen Fläche schwierig, weil die Pfähle nicht in der Richtung ihrer endgiltigen Lage „angesteckt“ werden, sondern erst mit dem Vortriebe allmählich in diese gelangen können, s. Fig. 144. Die Drehung, die dabei der einzelne Pfahl um das Joch macht, auf dem er angesteckt ist, nennt der Bergmann das „Schnappen“ des Pfahles. Dies erfordert, daß mehr Gebirge gelöst werden muß, als zur Herstellung des Profils notwendig ist, wodurch Hohlräume hinter der Verpfählung entstehen, die bei drückendem Gebirge nicht immer in der wünschenswerten Weise ausgefüllt oder „versetzt“ werden können. In solchem Gebirge, wo Getriebezimmerung notwendig wird, kann daher die Jochzimmerung überhaupt nicht mehr angewandt werden.

Fig. 144. *Jochzimmerung.*



Hierin besteht für diese Zimmerung ein Nachteil, der der Sparrenzimmerung nicht anhaftet. Diese kann in jedem Gebirge Anwendung finden, hat dagegen den Nachteil, daß man bei ihr an die Pfahllänge gebunden und daher bei wechselndem Gebirge unter Umständen nicht in der Lage ist, die Gesamtzimmerung durch eine größere Entfernung der Sparrenzimmer voneinander soweit zu verringern, wie es die Beschaffenheit des Gebirges allenfalls gestattet, während die Jochzimmerung hierin größeren Spielraum läßt.

Danach empfiehlt es sich, in festem und in gebrächem Gebirge Jochzimmerung, dagegen in mildem Gebirge Sparrenzimmerung zur Anwendung zu bringen.

Weiter unten werden wir bei Besprechung der einzelnen Tunnelbauweisen sehen, in wie verschiedener Weise die vorstehend gekennzeichneten beiden Zimmerungsarten zur Anwendung gelangen. Diese Verschiedenheit besteht in der Art der Abstützung einerseits der Sparrenzimmer, andererseits der Kronbalken, die zum Teil, wie bereits oben bemerkt, durch die Bauweise als solche, durch die Art des Bauvorganges, zum Teil auch durch die Konstruktionsart der Gespärre geboten wird. Auch der weiter unten zu besprechende Tunnelausbau in Eisen ist auf eine der beiden Zimmerungsarten basiert und zwar auf Sparrenzimmerung.

Es sei hier noch bemerkt, daß in sehr vielen Fällen ein Verziehen des Ortstosses oder der sogenannten „Brust“ wegen der großen Abmessungen des Tunnelquerschnittes notwendig wird. Man bewirkt dies durch wagerecht angelegte Bretter oder Bohlen und quer über diese gelegte Anlegehölzer, die gegen die rückwärtigen Gespärre oder auch unmittelbar durch Schubstreben gegen die Sohle abgestützt werden.

### C. Die Schachtzimmerung.

§ 63. **Gewöhnliche Schachtzimmerung.** Die Zimmerung in Schächten hat zweierlei Zwecken zu dienen. Erstens soll sie, wenn erforderlich, das Gebirge abstützen, und zweitens die Schachtabteilungen, die „Schachttrumme“ und die damit verbundenen Einrichtungen bilden, wie sie die Förderung, Fahrung (Förderung des Personals), Wasserhaltung und Lüftung notwendig machen.

In festem Gebirge, wo allein der letztere Zweck mit der Zimmerung erreicht werden soll, genügen einfache „Stempel“, die in den Schachtstößen eingebüht werden und deren Zahl und Lage von der Anordnung der Schachanlage abhängig ist (Fig. 21, Taf. II). In der Regel ist aber bei den Schächten eine Sicherung aller vier Seiten des rechteckigen Querschnittes, wie er allgemein bei Tunnelbauten üblich ist, notwendig. Dies geschieht durch geschlossene Rahmen (Fig. 22, Taf. II), sogenannte „Schachtgeviere“ (auch „Schachtkranz“, „Schachtzimmer“ u. s. w.), bei denen die langen Hölzer *a* „Joche“, die kurzen *b* „Kappen“ genannt werden. Man verwendet hierzu sowohl Rundholz als Kantholz. Teils zur Verstärkung der Schachtgeviere, teils zur Einteilung des Schachtes werden zwischen den Jochen Bolzen *c*, sogenannte „Einstriche“ eingespannt, die bei runden Jochen ausgeschart, bei Kantholz eingezapft werden.

Je nachdem die Schachtgeviere in Abständen voneinander angebracht oder aber unmittelbar aufeinander gelegt werden, unterscheidet man „Bolzenschrotzimmerung“ und „ganze Schrotzimmerung“.

1. Die Bolzenschrotzimmerung findet die meiste Anwendung. Hierbei werden die Schachtgeviere durch Bolzen gegeneinander abgestützt.

Ist das Gebirge einigermaßen standfähig und kann man den Schacht um eine gewisse Tiefe niederbringen, ohne sofort verzimmern zu müssen, so baut man die Schachtgeviere abteilungsweise von unten nach oben ein. Man beginnt dann mit dem Einbauen von „Tragestempeln“, d. h. Hölzern, die in die langen Stöße des rechteckigen Schachtes eingebüht werden und auf denen das unterste Schachtgevier aufgelagert wird.

In weniger festem Gebirge hängt man die Schachtgeviere vorübergehend mit langen Klammern an den letzten Tragestempeln auf und stützt diese außerdem vorübergehend mit Bolzen gegen die Schachtsohle ab (Fig. 23 u. 24, Taf. II). Man hilft sich in solchen Fällen auch häufig dadurch, daß man bei den einzelnen Geviere abwechselnd entweder die Kappen oder die Joche einander übergreifen läßt und die überstehenden Enden in das Gebirge einbühnt, womit man derartig wechselt, daß bei dem einen Geviere die Kappen, bei dem anderen die Jochenden vorstehen und eingebüht werden. Diese treten dadurch an die Stelle der Tragestempel, die hierdurch entbehrlich werden.

Jedes einzelne Schachtzimmer wird genau nach Maß über Tage abgebunden und muß mit der Setzwage wagerecht und genau fluchtrecht mit den übrigen Zimmern mit Hilfe eines an der Hängebank aufgehängten Lotes eingebaut werden.

Die Verkleidung der Schachtstöße wird bei der Bolzenschrotzimmerung in ähnlicher Weise wie die Verpfählung bei der Stollenzimmerung hergestellt. Die von Geviere zu Geviere reichenden Pfähle werden mit Keilen, die man zwischen den Köpfen und den Enden der Pfähle eintreibt, fest gegen das Gebirge und gegen die Geviere angepresst. Die hohlen Räume hinter den Pfählen werden wie bei der Stollenzimmerung sorgfältig mit Bergen verpackt oder „versetzt“.

2. Die ganze Schrotzimmerung wird nur in seltenen Fällen bei sehr stark drückendem Gebirge angewandt. Da dabei Gevier auf Gevier liegt, so wird hier die Verpfählung überflüssig. Die Einstriche werden bei der Schrotzimmerung nur selten für jedes Gevier notwendig.

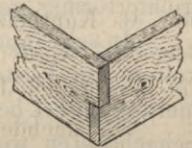
Um den Verdrückungen und Verwindungen der Zimmer, die infolge des Setzens namentlich bei loserem Gebirge vorkommen können, entgegenzutreten, werden häufig statt der einfachen Einstriche zwischen den Jochen zur festeren Absteifung derselben gegeneinander sogenannte „Bockwände“ oder „Schachtschlösser“ eingebaut. Diese kommen sowohl bei der Bolzenschrotzimmerung als der ganzen Schrotzimmerung vor und bestehen aus „Wandruten“  $d$  (Fig. 22 u. 23, Taf. II), die senkrecht an die Joche mehrerer Schachtgeviere gelegt, von einem Tragestempel zum andern reichen und gegeneinander durch Einstriche  $f$  oder durch schräge Stempel abgestützt werden. Die Wandruten sind da, wo sie sich an die Jochhölzer legen, auszukehlen.

Außer den beiden genannten Zimmerungen ist noch die Kastenzimmerung zu erwähnen, die bisweilen bei kleineren Schachtabmessungen Anwendung findet. Sie ist der ganzen Schrotzimmerung ähnlich und wird mittels kastenförmiger, aus Bohlen zusammengesetzter Geviere hergestellt (Fig. 145 u. 146).

Fig. 145 u. 146. *Kastenzimmerung.*

Fig. 145.

Fig. 146.



**§ 64. Die Getriebezimmerung beim Schachtbau.** In losem und schwimmendem Gebirge kommt auch beim Schachtbau die Getriebezimmerung zur Anwendung.

Da hier das Einbühnen der Tragestempel oder der vorstehenden Enden der Kappen und Joche nicht mehr zugänglich ist, so muß für die Sicherheit der Zimmerung in anderer Weise gesorgt werden. Dies geschieht, indem man sie an sogenannten „Rüstbäumen“ mittels eiserner Bügel und Klammern oder Laschen an Wandruten mit Tragestempeln aufhängt. Die Rüstbäume sind starke einfache oder zusammengesetzte Träger, die zu Tage über die Schachtmündung gelegt werden und diese nach beiden Seiten weit übergreifen (Fig. 23, Taf. II). Außerdem stützt man die Zimmerung vorübergehend durch Bolzen gegen die Sohle ab und benutzt die erste zum Einbühnen von Tragestempeln geeignete feste Gebirgsschicht, die angefahren wird, um die Zimmerung auch dauernd von unten zu stützen.

Während der allmählichen Absenkung der Schachtsohle, bis ihre Tiefe den Einbau neuer endgiltiger Wandruten gestattet, werden die einzelnen Geviere der Schachtteilung außer ihrer Abstützung gegen die Sohle durch Bolzen noch aneinander vorübergehend mit eisernen Klammern aufgehängt, auch wohl vorläufig durch Wandruten und Einstriche abgesteift.

Im allgemeinen ist der Vorgang bei der Getriebezimmerung hier derselbe wie beim Stollenbau. Die Pfähle werden an dem „Haupt-“ oder „Ansteck-Geviere“ angesteckt und schräg in die Sohle eingetrieben, worauf das Gebirge aus der Sohle aufgehoben wird. Der Vortrieb der Pfähle beginnt mit den Eckpfählen, die trapezförmig zugerichtet sind. Ist die Sohle bis zur halben Pfahlänge niedergebracht, so wird der Einbau eines „Hilfs-“ oder „Mittel-Geviere“ notwendig, teils zur Abstützung der Pfähle, teils zur Führung der schrägen Richtung derselben. Die Mittelgeviere sind wegen der Neigung der Pfähle größer, als die Hauptgeviere. Um beim Aushub der Schachtsohle vom Wasser weniger belästigt zu werden, treibt man in der Mitte der Sohle einen kleinen Schacht, das sogenannte „Vorgesümpfe“ vor.

Die Sicherung des Vorgesümpfes geschieht durch senkrecht eingerammte Bohlen, die einen geschlossenen viereckigen Kasten bilden, der entsprechend dem Niedergange der Schachtsohle tiefer eingerammt wird. Anstatt der Bohlen benutzt man für das Vorgesümpfe auch wohl Kasten oder Cylinder aus Eisenblech, die gleichfalls mittels Rammen in die Sohle eingetrieben werden.

In schwimmendem Gebirge muß auch die Schachtsohle verwahrt werden. Dies geschieht durch dicht nebeneinander gelegte Zumachebretter, die eins nach dem andern aufgenommen werden, um das Gebirge an der Stelle herauszunehmen und die vertiefte Sohle aufs neue durch ein Brett abzuschließen; oder auch in sehr aufquellendem Gebirge durch rechteckige Klötze aus Holz oder Eisen, mit denen die Sohle sozusagen abgeplastert wird. Die Klötze werden gegen Spreizen abgebolzt. Sie sind mit Löchern versehen, durch die das Gebirge beim Niedertreiben der einzelnen Klötze hindurchtreten kann. Durch Verstopfen derselben kann man den Zutritt des Gebirges regeln. Ein Vorgesümpfe wird bei der Anwendung von Klötzen dadurch ersetzt, daß man die Klötze in der Schachtmitte tiefer hält, als die übrigen und somit die Schachtsohle trichterförmig gestaltet.

In schwimmendem Gebirge kann das Abteufen eines Schachtes ungeheure Schwierigkeiten und Kosten verursachen und es kommen Fälle vor, wo selbst die Getriebezimmerung zur Überwindung der Schwierigkeiten nicht mehr ausreicht. Bei geringeren Schachttiefen wendet man in solchen Fällen wohl Spundwände an, bei denen die Bohlen ohne Pfändung senkrecht eingesetzt und eingerammt, nötigenfalls mit Nut und Feder versehen werden. — Bei diesem Verfahren wird sich naturgemäß der Schacht nach unten verjüngen; es eignet sich deshalb nur für geringere Tiefen.

Es mag noch erwähnt werden, daß auch das „Senkverfahren“, wie es anderweitig in der Bautechnik bei Gründungen, Brunnenanlagen u. s. w. vorkommt, schon beim Schachtbau Anwendung gefunden hat, z. B. bei der unter ganz ungewöhnlich schwierigen Verhältnissen erfolgten Herstellung des Schachtes der Kohlenzeche Rheinpreußen bei Ruhrort. Bei diesem Baue wurde der kreisrunde Schacht durch einen gußeisernen Cylinder gebildet, der aus aufeinandergesetzten Ringen bestand, die aus einzelnen Segmenten zusammengesetzt waren. Die Schachtsohle wurde durch Ausbaggern des Bodens vertieft, wobei sich der Cylinder durch sein Eigengewicht und nach Bedarf mit Zuhilfenahme von Belastungen senkte.<sup>53)</sup>

**§ 65. Wasserdichte Zimmerung (Cuvelage).** Es ist noch die wasserdichte Schachtzimmerung (nach der französischen Bezeichnung „Cuvelage“) zu erwähnen, die in wasserreichem Gebirge, namentlich bei Quellen oder einzelnen viel Wasser führenden Schichten zur Anwendung kommt und den Zweck hat, das Wasser in die Stöße zurückzudrängen und vom Eintritte in den Schacht abzuhalten.

Bei der Cuvelage wendet man ganze Schrotzimmerung an. Die Schachtgeviere werden sorgfältig über Tage aus vollkantigem behobelten Holze zugerichtet und aufeinander gepafst. Man unterscheidet „Picotage-“ und „Cuvelage-Kränze“; erstere schließen die ganze zu dichtende Strecke nach oben und unten hin gegen das Gebirge ab, während letztere mehr eine Art Verkleidung des zwischen den Picotage-Kränzen liegenden Stückes bilden.

<sup>53)</sup> Über das Verfahren beim „Senken“ und die dabei benutzten Hilfsmittel vergleiche man den ersten Band dieses Handbuchs (3. Aufl.), Kap. VI, § 36 u. 37 (Gründung mittels Senkbrunnen), den vierten Band desselben, Kap. IV (1. Aufl.), S. 331 ff. (Bagger mit unterbrochener Materialförderung), und Kap. IX: „Das Abbohren von Schächten“ (in der 2. Aufl. 2. Abt. Kap. V).

Beim Einbauen des ersten Picotage-Kranzes wird das Gebirge an der Auflagerstelle sorgfältig geebnet und dieser darauf so gelagert, daß hinter ihm bis zu den Stößen ein Raum von 8 bis 10 cm frei bleibt. In diesen stellt man Bohlenstücke von weichem Holze von der Höhe des Kranzes ein und füllt den übrigen Raum mit Moos aus, das man fest einstampft. Hiernach setzt man zwischen die Bohlenstücke und den Picotage-Kranz Plattkeile ein und preßt mit diesen die Mooschicht zusammen, was man mit neuen Keilen so lange fortsetzt, wie möglich. Danach werden die Köpfe der Keile beseitigt und ein Cuvelage-Kranz aufgesetzt, der in der Regel aus schwächerem Holze, häufig nur aus an den Stößen sorgfältig gehobelten Bohlen („Umläufen“) besteht. Diese werden mit Beton hinterfüllt. In verschiedenen Höhen bis zu 6 m folgt ein neuer Picotage-Kranz, dessen Dichtung wie die des untersten Kranzes bewirkt wird.

Ist ein größeres Stück des Schachtes zu dichten, so werden unter den Picotage-Kränzen Tragestempel eingebaut und nicht selten mit diesen verbunden. Demnächst werden noch die Fugen sorgfältig kalfatert.

**§ 66. Der Schachtstuhl.** Die Zimmerung eines Schachtes, der in der Tunnelinie bis auf die Tiefe der Sohle eines zu bauenden Tunnels abgeteuft worden ist, verliert beim Ausbruch des Tunnelraums ihren Stützpunkt und würde nach Entfernung des Gebirges und Bloßlegung der unteren Zimmerung zusammenstürzen, wenn man dem nicht durch besondere Zimmerkonstruktionen vorbeugt. Diese Konstruktionen, die beim „Einbrechen“ in den Tunnel die ganze Schachtzimmerung tragen, nennt man den „Schachtstuhl“. Er besteht aus einem soliden, gut verstrebtten Gerüst, das selbstverständlich die verschiedenen Schachtteilungen für die Förderung, Wasserhaltung u. s. w. offen lassen muß. Dies Gerüst reicht nach oben bis über die herzustellende Tunnelmauerung hinaus und ist so einzurichten, daß nach Herstellung des möglichst nahe bis an dasselbe auszuführenden Tunnelgewölbes die oberen Tragestempel des Schachtstuhles auf dem Gewölbe aufgelagert werden können und auf diese Weise den Schachtstuhl entlasten.

Die Herstellung des letzteren muß selbstverständlich den Einbruchsarbeiten in den Tunnel von dem Schachte aus vorhergehen. Man beginnt mit dem Einbühnen und Einbauen der Tragestempel (Fig. 25 u. 26, Taf. II) nahe über dem späteren Gewölbe; sie unterstützen die Schachtzimmerung unmittelbar. Die Bühnenlöcher werden in Form kleiner Stollen ziemlich tief hergestellt, um die Tragestempel so lang machen zu können, daß sie demnächst hinreichendes Auflager auf dem Gewölbe finden. Unter den Tragestempeln wird der Schachtstuhl aufgeführt.

Seine Konstruktion kann sehr verschieden sein und hängt von der größeren oder geringeren Festigkeit des Gebirges ab. Die Fig. 25 u. 26, Taf. II stellen einen Schachtstuhl in sehr mildem Gebirge dar, bei dem ein Einbühnen der vorstehenden Kappen oder Jochenden der Schachtgeviere nicht möglich war und daher die Last der gesamten Zimmerung von dem Schachtstuhl aufgenommen werden mußte.

Der Einbruch in den Tunnel nach Aufstellung des Schachtstuhles geschieht zweckmäßig von dem Schachte aus gleichzeitig nach beiden Richtungen, um durch ungleichen Druck auf die Zimmerung eine Verdrückung des Schachtes, die bei einseitigem Vorgehen leicht vorkommen kann, zu vermeiden. Ebenso empfiehlt es sich, so rasch als möglich die Tunnelmauerung neben dem Schachte herzustellen und damit so nahe als thunlich an den Schacht heranzugehen, um möglichst bald den Schachtstuhl dadurch zu entlasten oder ganz entbehrlich zu machen, daß die Haupttragestempel auf dem Tunnelgewölbe gelagert werden.

Tabelle XVII.

## Holzabmessungen der Zimmerung für die verschiedenen Gebirgsklassen.

Bezeichnung der Hölzer	Gebirgsklasse				
	fest	gebräch	mild	rollig	schwimmend
<b>A. Stollenzimmerung.</b>					
Entfernung der Thürstöcke von Mitte zu Mitte m	2,0	1,5	1,0	0,8	0,6
	Stärke der Hölzer. Centimeter.				
Kappen und Stempel bei einer Länge von 2,8 m . . . . .	15	20	25	30	35
Sohlenschwellen bei einer Länge von 2,8 m . . . . .	—	—	20	25	30
Sprengbolzen . . . . .	12	12	15	18	20
<b>B. Tunnelzimmerung.</b>					
a) Sparrenzimmerung.					
Entfernung der Sparrenzimmer von Mitte zu Mitte m	2,0	1,5	1,2	1,0	1,0
	Stärke der Hölzer. Centimeter.				
Kappen, Spurren, Sparrenfüße, 3 m lang . . . . .	20	25	30	35	40
Strossensparren, 3 m lang . . . . .	—	20	25	30	35
Obere Bocksäulen bei einer Länge von 3,5 m . . . . .	25	30	35	40	45
Untere Bocksäulen bei einer Länge von 3,5 m . . . . .	30	35	40	45	50
Hilfsbocksäulen bei einer Länge von 3,5 m . . . . .	—	—	30	40	45
Streben bis zu 3 m . . . . .	20	20	25	30	35
Mittelschwellen . . . . .	30	35	40	50	60
Sohlenschwellen . . . . .	—	—	30	40	45
Spreizen für die Ulmwandruten, 3,0 m lang . . . . .	—	20	25	30	35
Kappenunterzüge bis 8 m lang . . . . .	25	25	30	35	40
Schwellenunterzüge bis 8 m lang . . . . .	25	25	30	35	40
Sparrenwandruten bis 8 m lang . . . . .	25	25	25	30	30
Ulmwandruten bis 8 m lang . . . . .	—	—	20	25	30
Sprengbolzen verschiedener Länge . . . . .	15	15	20	20	25
Schubstreben 5 bis 10 m lang . . . . .	30	30	35	40	40
b) Jochzimmerung.					
Freitragende Länge der Joche . . . . . m	6,0	4,0	3,0	—	—
Entfernung der Joche von Mitte zu Mitte m	1,5	1,3	1,0	—	—
	Stärke der Hölzer. Centimeter.				
Joche . . . . .	30	35	35	—	—
Bolzen . . . . .	20	20	25	—	—
Brustschwellen . . . . .	25	30	35	—	—
Stempel . . . . .	20	20	25	—	—
Schubstreben . . . . .	25	30	30	—	—
<b>C. Schachtzimmerung.</b>					
Entfernung der Geviere von Mitte zu Mitte m	2,0	1,5	1,2	1,0	0,8
	Stärke der Hölzer. Centimeter.				
Joche und Stempel bis 4 m lang . . . . .	20	20	25	30	35
Eintriche . . . . .	20	20	20	25	30
Wandruten . . . . .	20	20	25	30	30
Bolzen . . . . .	15	15	20	20	20
Führungslatten . . . . .	10	10	10	10	10
Pfähle . . . . .	12	12	12	12	12
	4 bis 6 Centimeter.				

Anmerkung. Die bei der Jochzimmerung zur Anwendung kommenden Mittelgespärre zur Unterstützung der Joche sind den Bockgespärren der Sparrenzimmerung ähnlich und die entsprechenden Hölzer erhalten ähnliche Stärken.

**§ 67. Holzabmessungen.** Die im Vorstehenden besprochenen Holz-Konstruktionen kommen unter mannigfachen Druckverhältnissen zur Anwendung, denen sie in jedem einzelnen Falle entsprechen müssen. Dies wird erreicht: einmal durch passende Vermehrung oder Verminderung der Anzahl der unterstützenden Konstruktionen und nach Bedarf ihrer einzelnen Hölzer, dann aber auch durch entsprechende Anwendung einer gröfseren oder geringeren Stärke der Hölzer. Im allgemeinen geschieht beides gleichzeitig, es kann aber auch zweckmäfsig sein, die gröfsere oder geringere Widerstandsfähigkeit der Zimmerung lediglich auf die eine oder die andere Art zu erreichen, z. B. bei einem Tunnel mit wechselndem Gebirgsdruck.

Theoretische Erörterungen über die Wirkung der einzelnen Konstruktionen sind in der Regel ausgeschlossen; man ist im allgemeinen nicht imstande, eine zuverlässige Berechnung der Zahl und Stärke der tragenden Hölzer vorzunehmen, weil der von der Zimmerung aufzunehmende Gebirgsdruck und dessen Richtung unbekannt sind und auch deren ungefähre Schätzung kaum möglich erscheint. Für die Anordnung der Zimmerung ist vielmehr die Erfahrung maßgebend.

In der vorstehenden Tabelle XVII sind unter Angabe der durchschnittlichen Entfernung der Haupthölzer voneinander für die verschiedenen Konstruktionshölzer und unter Annahme einer bestimmten Länge derselben die in der Regel zur Verwendung kommenden Stärken für die verschiedenen Gebirgsklassen angegeben, die bei Bearbeitung von Bauentwürfen einigen Anhalt bieten mögen. Die Maßangaben können nur als ungefähre gelten; es wird ausdrücklich bemerkt, dafs in der Praxis sowohl bezüglich der angegebenen Entfernungen der Haupthölzer, als auch der Holzstärken häufig andere Mafse vorkommen.

Die bergmännischen Arbeiten, die im vorstehenden Abschnitt in ihren Grundzügen besprochen sind, finden — abgesehen vom Tunnelbau — bei den Ausführungen des Ingenieurs in zahlreichen Fällen Anwendung.

Sprengungen kommen vor bei der Herstellung von Felseinschnitten, bei Gründungen und namentlich als Unterwasser-Sprengungen bei Flufs- und Hafenbauten u. s. w. Stollen gelangen zur Ausführung beim sogenannten englischen Einschnittsbetrieb, sowie bei der Herstellung unterirdischer Strecken von Entwässerungs- und Bewässerungskanälen; bezüglich der einschlägigen Einzelheiten sei auf ein am Schlusse dieses Kapitels aufgenommenes Verzeichnis derjenigen Mitteilungen verwiesen, welche die technische Litteratur über solche Wasserleitungsstollen gebracht hat. Der Schachtbau schliesslich ist für die Wasserversorgung von Bedeutung, insofern die Brunnen mit weitem Mantel nichts anderes als kleine Schächte sind. Auch auf den bedeutsamen Umstand, dafs aus den Förderbahnen der Bergwerke unsere Eisenbahnen hervorgegangen sind, ist an dieser Stelle hinzuweisen.

### Litteratur,

#### Stollen- und Schachtzimmerung betreffend.

- Rziha, Fr. Über Getriebezimmerung und deren Anwendung beim Tunnelbau. Zeitschr. f. Bauw. 1858, S. 589.  
 Über die Verwendung von Eisenbahnschienen zur Grubenzimmerung. „Berggeist“ 1871, No. 104, S. 673.  
 Brand eines Tunnelschachtes. Zeitschr. f. Bauw. 1872, S. 134.  
 Sichel, C. A. Die Grubenzimmerung. Freiberg 1873.  
 Über Herstellung eiserner Schachtverkleidungen. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1878, S. 249.

- Eiserne Streckengestelle als Ersatz der hölzernen Thürstockzimmerungen. „Glückauf“ 1879, No. 49. — Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1879, S. 335.
- Rziha's eiserne Rahmen zur Stützung der Tunnelstollen. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1881, S. 158.
- H. Lueg, Über Neuerungen beim Schachtabteufen im Braunkohlengebirge. Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1893, S. 100.
- Zimmerung eines kurzen Tunnels der West-Virginia- und Pittsburg-Eisenbahn. Engng. news 1894, I. S. 274.
- Gufseiserne Tunnel- und Schachtringe beim Bau der Tunnel und Schächte der London-Central-Untergrundbahn. Engineer 1898, II. S. 465 und Engng. news 1898, II. S. 411.

#### Aufsergewöhnliche Verfahren beim Abteufen von Schächten.

- H. Coxo. Über eine neue Methode, Schächte abzuteufen (vergl. hierzu S. 87 oben). The mining Journ. 1874, Mai, S. 575.
- Wilke. Verfahren zum Abteufen von Schächten in Schwimmsand. Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1875, S. 4.
- H. Luez. Über Schachtabbohrungen. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1876, S. 450.
- Schachtbaumethode von Kind-Chaudron. Engineering 1872, März, S. 183. — Engineer 1872, März, S. 208. — Ann. des mines 1873, S. 53. — Engineering and mining journal 1877, Juni, S. 415.
- Schulz, B. Das Schachtabbohren nach dem System Kind-Chaudron. Düsseldorf 1879.
- Übersicht der älteren und neueren Schachtbohrsysteme. Berg- u. hüttenmänn. Zeitg. 1882, S. 10 u. a.
- Gräfsner. Das Abteufen einiger Schächte im schwimmenden Gebirge innerhalb des Bergreviers Kottbus. Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1889, S. 385.
- Schachtabteufen mittels Rohrschachtes. Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 345.
- Löcke, E. Das Abteufen neuer Schächte auf Zeche „Deutscher Kaiser“ bei Hamborn und die bei denselben angewendeten Methoden. Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1893, S. 216.

## Zweiter Abschnitt.

## Die Ausführung des Tunnelbaues.

## I. Die verschiedenen Tunnel-Bauweisen.

Die Ausführungen der Tunnelbauten zeigen untereinander, der großen Mannigfaltigkeit der örtlichen Verhältnisse entsprechend, eine große Verschiedenheit. Namentlich sind in neuerer Zeit, infolge des gewaltigen Anwachsens des Verkehrs, besonders in den großen Städten, Tunnelbauten unter den schwierigsten Verhältnissen sowohl im Grundwasser und unter Wasserläufen, als auch unter Baulichkeiten erforderlich geworden, die die Tunnelbau-Ingenieure nötigten, zu ganz besonderen Hilfsmitteln zu greifen, um diese neuen Aufgaben zu lösen, da die gewöhnlichen Bauweisen hierfür nicht mehr ausreichen. Damit hat die Tunnelbaukunst eine erhebliche Erweiterung erfahren, die es nötig macht, diese neueren Ausführungen für sich zu behandeln und es sollen demnach hier getrennt zur Besprechung kommen

- A. die gewöhnlichen bergmännischen Tunnel-Bauweisen, bei denen der Ausbruch und der Ausbau des Tunnelraumes nach Art der mehr oder weniger einfachen (gewöhnlichen) bergmännischen Arbeiten erfolgt und
- B. die neueren Tunnelbauten, bei denen besondere Hilfsmittel zur Anwendung kommen.

## A. Die gewöhnlichen, bergmännischen Tunnel-Bauweisen.

§ 68. Vorbemerkung. Trotz der vielfach verschiedenen Ausführungen der gewöhnlichen, auf bergmännische Art hergestellten Tunnel lassen sich ihre Bauweisen doch nach gewissen kennzeichnenden Merkmalen in wenige Gruppen zusammenfassen. Die hierfür maßgebenden Eigentümlichkeiten bestehen in der Art des Arbeitsvorgangs beim Abbau des Tunnelraumes und der Herstellung der Mauerung, werden dagegen von der Konstruktion der Zimmerung und dem Vorhandensein und der Lage eines vorseilenden „Richtstollens“, dessen Bedeutung gleich erläutert werden soll, nicht oder doch nicht entscheidend beeinflusst.

Nach diesen Gesichtspunkten ergeben sich vier bestimmt zu unterscheidende „Tunnel-Bauweisen“, zu deren Bezeichnung die übliche nach verschiedenen Ländern gebildete als die „deutsche“, „belgische“, „englische“ und „österreichische“ beibehalten werden mag. Innerhalb dieser vier Bauweisen lassen sich sodann, je nach der Konstruktionsart der Zimmerung, Unterschiede von untergeordneter Bedeutung feststellen, die je nach Art der Entstehung als „System“ mit dem Namen ihres Begründers oder demjenigen der ersten Verwendungsstelle bezeichnet zu werden pflegen und auch hier so benannt werden sollen.

Bezüglich des eben erwähnten Richtstollens ist hier zu bemerken, daß der Vortrieb eines solchen in der Regel dem Abbau des ganzen Tunnelquerschnittes — dem Vollausbau — vorseilt. Er kann im Scheitel des Tunnelprofils als „Firststollen“ oder auf der Sohle als „Sohlenstollen“ angelegt werden (vergl. Fig. 2, S. 8) und hat zum Zweck:

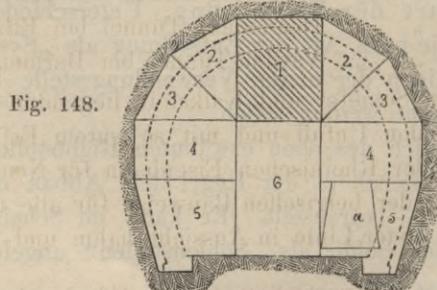
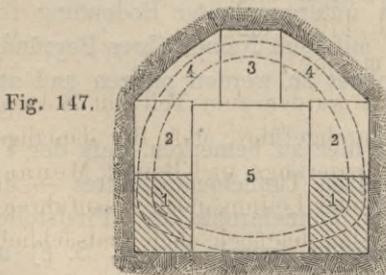
1. Feststellung der Richtung und Höhenlage;
2. Aufschließung des Gebirges in kleinem (deshalb wenig gefahrvollem) Profil, somit sichere Kenntnis desselben, um danach die weitere Arbeit, die Stärke der Zimmerung u. s. w. einrichten zu können;
3. Schaffung der erforderlichen Angriffspunkte und Einrichtung der Förderung für diese;
4. Wasserführung;
5. beschleunigte Herstellung einer Verbindung der beiden Mundlöcher zur Erleichterung des gesamten Baubetriebes, namentlich der Förderung, Wasserführung und Lüftung.

Liegt der Richtstollen in der First, so kann der weitere Abbau des oberen Profilverteiles (der Kalotte) unmittelbar durch seitliche Erweiterung des ersteren erfolgen, während der untere Teil (die Strosse) von einem dem Firststollen meist in zwei oder drei Absätzen nachfolgenden „Sohlenschlitz“ aus abgebaut wird. Bei Anwendung eines „Sohlenstollens“ erfolgt die Schaffung von Angriffspunkten in der Regel durch sogenannte „Aufbrüche“. Von diesen aus werden dann nach beiden Seiten Firststollen streckenweise vorgetrieben und ermöglichen nun in gleicher Weise wie vorstehend den Abbau des noch übrigen Profiles, sofern dieser nicht etwa gleich im vollen Profil dem Richtstollen nachfolgt. Sonach kann auch bei Anordnung des Richtstollens in der Sohle der eigentliche Abbau des Tunnelquerschnittes von oben aus erfolgen, und es übt die Lage des Richtstollens, wie oben bemerkt, keinen entscheidenden Einfluss auf die Art des Abbaues, also auf das Eigentümliche der „Bauweise“ im bezeichneten Sinne. Auch können Tunnel ganz ohne Richtstollen ausgeführt werden, wie das bei kürzeren Bauwerken thatsächlich vorkommt. Näheres über den hier berührten Gegenstand bringt § 96.

### § 69. Das Eigenartige der vier gewöhnlichen bergmännischen Tunnel-Bauweisen.

1. Die deutsche Tunnel-Bauweise. Das Tunnelprofil wird der Gestalt der Ausmauerung entsprechend zunächst nur so weit abgebaut, wie es deren Herstellung erfordert. Es bleibt also in der Mitte des Tunnels ein Erdkern bis nach Schluss des Gewölbes stehen, bis dahin zur Abstützung der Zimmerung dienend. Diese Art der Ausführung wird daher auch als „Kernbau“ bezeichnet (Fig. 1 bis 15, Taf. III). Der Abbau des Profils geschieht dabei im wesentlichen durch über- und nebeneinander geführte Stollen in der aus den nachstehenden schematischen Fig. 147 u. 148 ersichtlichen Reihenfolge. Der Abbau der einzelnen Profilverteile kann sowohl in der Sohle, als auch in der First beginnen. — Die Mauerung geschieht von unten auf.

Fig. 147 u. 148. *Kernbau.*



Die geschilderte ist die älteste Tunnel-Bauweise; sie entstand beim Tunnel von Tronquoy im Kanal von St. Quentin im Jahre 1803, fand sodann beim ersten deutschen Tunnel unweit Königsdorf auf der Bahn von Aachen nach Köln 1837 Nachahmung und weitere Ausbildung und blieb nach dessen glücklicher Vollendung, namentlich in Deutschland, längere Zeit hindurch fast ausschließlich in Anwendung. Daraus erklärt sich die Benennung als „deutsche Bauweise“. In neuerer Zeit wendet man die Kern-Bauweise nur noch in aufsergewöhnlichen Fällen an, z. B. bei der Wiederherstellung von Tunneleinstürzen.

2. Die belgische Tunnel-Bauweise (Fig. 16 bis 37, Taf. III). Diese kennzeichnet sich dadurch, dafs zunächst auf eine gröfsere oder auf die ganze Länge des Tunnels die obere Hälfte des Tunnelprofils, die Kalotte oder die Bogenausweitung, ausgebrochen, das Gewölbe eingespannt und danach die untere Hälfte des Tunnelprofils, die Strosse, ausgebrochen und durch Unterfangungsarbeit das Widerlagsmauerwerk hergestellt wird.

Um der vielfach verbreiteten irrigen Anschauung entgegen zu treten, dafs bei Anwendung der belgischen Bauweise die Führung des Richtstollens auf der Tunnelsohle (Sohlenstollen) ausgeschlossen sei, soll schon hier ausdrücklich hervorgehoben werden, dafs der belgische Tunnelbau-Vorgang als solcher durch die Lage des Richtstollens auf der Sohle oder in der First durchaus nicht beeinflusst wird, dafs vielmehr auch bei der belgischen Bauweise in den meisten Fällen der Sohlenstollen dem Firststollen entschieden vorzuziehen ist.

Das in Rede stehende Verfahren kam zum erstenmale bei Erbauung des Charleroy-Tunnels für den Kanal von Charleroy nach Brüssel im Jahre 1828 zur Ausführung und ist seitdem mit besonderer Vorliebe von belgischen und französischen Ingenieuren angewandt, während es in Deutschland und Österreich bis in die neuere Zeit wenig Anklang fand. In den letzteren Jahren haben sich die Ansichten der deutschen Tunnel-Ingenieure indessen wesentlich zu gunsten der belgischen Bauweise geändert und es gebührt dem Geheimen Baurat Hövel das Verdienst, diese Bauweise in Deutschland eingeführt und durch Wort und Schrift auf deren wesentlichen Vorteile aufmerksam gemacht zu haben.<sup>54)</sup>

Nach den früher unbeachtet gebliebenen und in Vergessenheit geratenen belgischen Bauausführungen dreier in den vierziger Jahren ausgeführten hessischen Tunnel bei Beisforth, Höhnebach und Guxhagen wurde dieser Bauvorgang in Deutschland durch Hövel erst wieder zur Anwendung gebracht in den Jahren 1877 bis 1879 bei fünf Tunneln der Düsseldorf-Barmen-Hörder Bahn und zwar

- bei dem Rott-Tunnel bei Barmen, 350 m lang,
- „ „ Tesch-Tunnel zwischen Vohwinkel und Elberfeld, 527 m lang,
- „ „ Engelberg-Tunnel bei Elberfeld, 160 m lang,
- „ „ Dörrenberg-Tunnel bei Elberfeld, 170 m lang,
- „ „ Vattloh-Tunnel bei Barmen, 80 m lang.

Diese in Schiefer und Kalkstein liegenden Tunnel wurden zum Teil mit Sohlenstollen ohne jeden Unfall und mit so gutem Erfolge durchgeführt, dafs der damalige Oberingenieur der Rheinischen Eisenbahn für Neubau, Regierungs- und Baurat Menne, die Anwendung der belgischen Bauweise für alle unter seiner Leitung noch auszuführenden Tunnel in erster Linie in Aussicht nahm und es wurden demnach auch thatsächlich

<sup>54)</sup> Vergl. u. a. Deutsche Bauz. 1880, S. 142.

in den Jahren 1880 bis 1883 der eingleisige, 740 m lange Schee-Tunnel (Barmen-Hattingen) in Kohlsandstein und in den Jahren 1881 bis 1884 die acht eingleisigen Tunnel der unteren Westerwaldbahn, sowie in letzter Zeit der ebenfalls eingleisige, 1040 m lange Marienthaler Tunnel (Altenkirchen-Au, Westerwald, s. Taf. IV) in Grauwackengebirge, letzterer mit Sohlenstollen, mit Hilfe der belgischen Bauweise zur Ausführung gebracht.

Das von Hövel gegebene Beispiel fand auch noch seitens anderer Ingenieure Nachahmung. So wurde schon in den Jahren 1878 bis 1879 der 245 m lange Lüdenschneider Tunnel in der Linie Brügge-Lüdenschneider der Bergisch-Märkischen Bahn, sowie namentlich der 3100 m lange, ebenfalls eingleisige Tunnel<sup>55)</sup> der Hessischen Ludwigsbahn Erbach-Eberbach in Buntsandstein mit Sohlenstollen in den Jahren 1880 bis 1882 durch den Unternehmer Arnoldi, der bereits beim Bau des Tesch-Tunnels die Vorteile der belgischen Bauweise erkannt hatte, und in neuerer Zeit die Tunnel der Ahrthalbahn belgisch gebaut; auch ist bei dem 1060 m langen Tunnel im Rhöngebirge die belgische Bauweise zur Anwendung gebracht worden.

Zur Zeit darf das frühere Vorurteil der deutschen Tunnel-Ingenieure gegen diese Bauweise als überwunden angesehen werden und ist anzunehmen, daß man ihre offenbaren Vorzüge für die Folge überall gebührend würdigen wird.

3. Die englische Tunnel-Bauweise (s. Fig. 1 bis 20, Taf. V). Der ganze Tunnelraum wird auf eine Länge von etwa 3 bis 8 m abgebaut und eingerüstet, sodann die Mauerung in dieser Strecke („Zone“ oder „Vorbruchlänge“) von unten, nötigenfalls mit dem Sohlengewölbe beginnend, aufgeführt. Erst nach Fertigstellung der Mauerung kann der Abbau der folgenden Zone (abgesehen von dem vorausgehenden Richtstollen) in Angriff genommen werden. Es ist dies durch die Konstruktion der Zimmerung bedingt, bei der entweder das bereits fertige Gewölbe als Stützpunkt für sie benutzt wird oder die Wiederverwendung der Zimmerung für die nächste Zone notwendig ist. Bei der englischen Bauweise können danach an einem Angriffspunkte entweder nur die Maurer oder nur die Bergleute arbeiten; beide Arbeiterkolonnen müssen miteinander abwechseln. Es sind daher mindestens zwei Angriffspunkte erforderlich, wenn die Arbeiter nicht abwechselnd pausieren sollen. Durch diesen, die englische von der nachfolgend gekennzeichneten vierten Bauweise scharf unterscheidenden Umstand ist man bei ihrer Anwendung mehr als bei den übrigen Bauvorgängen darauf angewiesen, durch Vortreiben eines Richtstollens eine größere Zahl von Angriffspunkten zu gewinnen.

Nachdem von Brunel bereits der Themse-Tunnel (1825—41) in ähnlicher Weise, jedoch mit Zuhilfenahme einer Eisenrüstung ausgeführt war, fand die beschriebene Bauweise in systematischer Durchführung mit Joehzimmerung ihre erste Anwendung beim Bau des Kilsby-Tunnels der London-Birmingham-Bahn im Jahre 1834 und wird seitdem als die „englische“ bezeichnet. Sie fand namentlich in England selbst vielfache Nachahmung, sodann u. a. beim Bau des Hauenstein-Tunnels in der Schweiz (1853) weitere Ausbildung. Mit Benutzung einer auf Längsträgern abgestützten Sparrenzimmerung kam die englische Bauweise im Jahre 1877 beim Bau des Ender Tunnels in Westfalen zur Anwendung (vergl. § 78: „Bauart Menne“).

4. Die österreichische Tunnel-Bauweise (s. Fig. 21 bis 40, Taf. V) hat mit der englischen den streckenweisen Abbau des ganzen Profils und die darauf folgende

<sup>55)</sup> Prof. Baurat Dolezalek. Der Odenwald-Tunnel in der Linie Erbach-Eberbach der Hess. Ludwigsbahn. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1884.

Mauerung von unten auf gemein. Dagegen bleibt hier die Abbaustrecke nicht notwendig auf eine gewisse Zonenlänge beschränkt, deren Einwölbung bei der englischen Bauweise den Fortgang der Ausbruchsarbeiten bedingt; vielmehr kann die voll abgebaute und mit Einrüstung versehene Strecke beliebig verlängert werden und die Wölbung unabhängig davon nachfolgen. Erreicht wird dies durch eine von der Fertigstellung der Auswölbung unabhängige Unterzimmerung der Hauptträger (Sparren oder Joche) mittels selbständiger, einander ziemlich nahestehenden Bockgespärre, die auf der Tunnelsohle aufgesetzt sind.

Die österreichische Bauweise kam zum erstenmale im Jahre 1837 beim Oberauer Tunnel der Leipzig-Dresdener Bahn in Anwendung. Die hier benutzte Sparrenzimmerung fand mehrfache Nachahmung und weitere Ausbildung bei der Prag-Dresdener Bahn 1845 und namentlich beim Czernitzer Tunnel in Oberschlesien durch Rziha. Im Jahre 1857 wurde die österreichische Bauweise beim Bau des Wiebelskirchener Tunnels auf der Rhein-Nahe-Bahn mit Benutzung von Jochzimmerung zur Ausführung gebracht und in dieser abgeänderten Gestalt neuerdings vielfach angewandt (vergl. § 74). Beim Bau des Naenser Tunnels (1862, Braunschweigische Südbahn Kreiensen-Holzminden) wurde die österreichische Bauweise durch Einführung einer Eisenrüstung wesentlich erweitert (System Rziha, vergl. § 76).

Die Vorteile und die Nachteile der verschiedenen Bauweisen sollen weiter unten (s. § 79) eingehend besprochen werden.

### a) Die deutsche Tunnel-Bauweise.<sup>56)</sup>

§ 70 (Fig. 1 bis 15, Taf. III). Als zu Anfang dieses Jahrhunderts für Kanalanlagen größere Tunnelbauten auch in mildem, druckhaften Gebirge notwendig wurden, war es bei dem gänzlichen Mangel an Erfahrungen erklärlich, dafs man, die Schwierigkeiten des Aufschliefens großer Räume fürchtend, zur Ausführung des unterirdischen Bauwerkes einen Bauvorgang ersann, der ohne gleichzeitige Öffnung und Einrüstung des ganzen Tunnelraums dessen allmähliche Herstellung ermöglichte. Der erste größere Tunnel in druckhaftem Gebirge war, wie gesagt, der im Jahre 1803 erbaute, 8 m breite Tunnel von Tronquoy für den Kanal von St. Quentin (s. nachstehende Fig. 149, S. 176 und Fig. 1, Taf. III). Man begann mit dem Vortreiben zweier Stollen (1) am Fusse der Widerlager, und führte dieses innerhalb der Stollen aus. Sodann wurde unmittelbar darüber ein zweites Stollenpaar (2) und weiter ein drittes (3) vorgetrieben und in jedem Stollen die Mauerung um das entsprechende Stück höher geführt; endlich erfolgte in einem Querschlage (4) der Schlufs der Wölbung. Dann erst wurde der von derselben eingeschlossene mittlere Gebirgstheil, „der Kern“, entfernt.

Bei den Tunnelbauten von St. Aignan (Ardennen-Kanal, 1822) und von Pouilly (Bourgogne-Kanal, 1824) fand diese Kern-Bauweise Nachahmung und weitere Ausbildung. In beiden Fällen ist auch der obere Profiltteil durch Stollen in der Richtung des Tunnels hergestellt. Bei dem Pouilly-Tunnel wurde in schieferigem Mergel und festem Kalkstein gleichzeitig mit den beiden Widerlagsstollen (1) (Fig. 150) ein Firststollen (2) getrieben, und von diesem aus nach den Widerlagsstollen hin vor dem Beginn der Ausmauerung die Ausweitung (3) des Profils vorgenommen. So entstand ein größerer Profilaufschlufs und damit zuerst eine zusammenhängende, eigentliche „Tunnel-

<sup>56)</sup> Rziha. Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst. Berlin 1872. — Lorenz. Praktischer Tunnelbau. Wien 1877. — Becker. Baukunde des Ingenieurs.

zimmerung“, während man bei den vorherigen Ausführungen sich auf wiederholte Stollenzimmerung beschränkt hatte. Diese älteste Tunnelzimmerung bestand aus einfachen Jochen, die mittels Streben gegen den Kern abgestützt waren (Fig. 2, Taf. III).

Fig. 149.

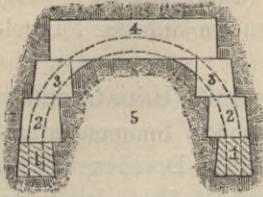


Fig. 150.

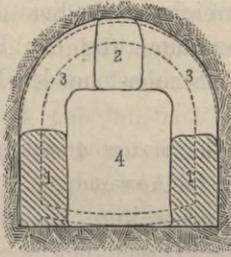
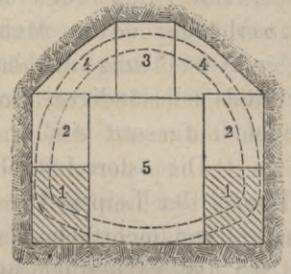


Fig. 151.

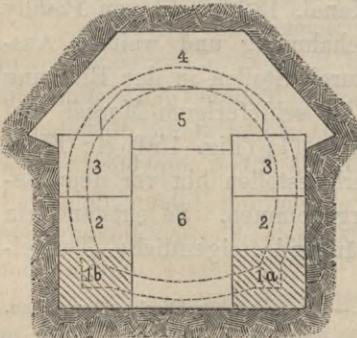


Unter sehr schwierigen Verhältnissen, nämlich im Schwimmsande, wurde die Kern-Bauweise bei der Herstellung des ersten deutschen Tunnels unweit Königsdorf (Köln-Aachener Eisenbahn, 1837) angewandt. In vorstehender Fig. 151 und den Fig. 3 u. 4, Taf. III ist der Bauvorgang und die Zimmerung dieses Tunnels dargestellt. Es wurden zunächst auf der Sohle zwei Widerlagsstollen (1) vorgetrieben und darin das Mauerwerk begonnen. In Entfernungen von 15 m wurden diese durch Querstollen verbunden, und in letzteren einzelne Gurte des Sohlengewölbes ausgeführt. Man baute dann weiter über dem ersten ein zweites Stollenpaar (2) und setzte in diesem das Widerlagsmauerwerk fort. Hierauf stellte man den Firststollen (3) her, erweiterte ihn beiderseits (4) zur Kalotte und gewann dadurch den Platz zur Aufstellung von Lehrbögen (Fig. 3 u. 4, Taf. III). Die Auszimmerung der seitlichen Ausweitungen des Bogenortes geschah auch hier durch Joche, die gegen den Mittelkern durch Streben und untereinander durch Sprengbolzen abgestützt waren.

Nach der glücklichen Durchführung dieses Tunnelbaues unter jenen schwierigen Verhältnissen wurde die Kern-Bauweise für längere Zeit namentlich in Deutschland bei den nunmehr häufiger werdenden Tunnelbauten sehr beliebt. Im einzelnen erfuhr sie verschiedene Abänderungen sowohl bezüglich des Vorganges beim Abbaue, als auch bezüglich der Zimmerung. Einiges hiervon mögen die folgenden Beispiele erläutern:

Der Triebitzer Tunnel (österreichische Staatsbahn Wien-Prag) ist in den Jahren 1842 bis 1844 nach deutscher Art erbaut. Seine Ausführung gestaltete sich in dem mit wasserreichen Sandschichten durchzogenen Letten überaus schwierig. Der Bauvorgang war folgender (Fig. 152): Es wurde zunächst in der Tiefe der Grundmauer-sole der rechtseitige Widerlagsstollen (1a) vorgetrieben und mit Hilfe verschiedener

Fig. 152.



Angriffspunkte von Schächten aus in seiner ganzen Länge hergestellt. Darauf folgte der linkseitige Widerlagsstollen (1b), über beiden sodann jederseits zwei weitere Stollen (2 und 3), deren Zimmerung sich auf die der unteren Stollen stützte. In den so aufgeschlossenen Stollenräumen wurde das Widerlager in Längen von 20 bis 25 m aufgeführt und hierauf mit dem Abbau des oberen Raumes begonnen. Dabei verfuhr man in anderer Weise als bei dem Königsdorfer Tunnel. Anstatt der Jochzimmerung wendete man eine dreiteilige Sparrenzimmerung an und hob zunächst den oberen Profiltteil (4) aus, um die Sparren einbauen zu können,

indem man sie auf dem noch vorhandenen Sattel (5) vorübergehend abstützte. Hierauf wurde der Sattel entfernt und die Sparren durch die in Fig. 9<sup>b</sup>, Taf. III dargestellte endgiltige Zimmerung mittels Unterzügen, nebst Stempel und Streben auf Doppelschwellen gegen den Kern abgespreizt. In Fig. 10, Taf. III ist die Aufstellung der Lehrbögen und die Mauerung des oberen Gewölbeteils dargestellt.

Bei dem vorhandenen bedeutenden Gebirgsdruck wurden in der beschriebenen Weise höchstens Strecken von 16 m Länge auf einmal in Angriff genommen. Dabei kamen 4 m auf den Sparreneinbau, 4 m auf den Abbau des Sattels, weitere 4 m auf den Einbau der Lehrbögen und die letzten 4 m auf die Ausführung des Gewölbes. Häufig beschränkte sich diese Angriffslänge wegen des großen Druckes im ganzen auf nur 4 m, die einzelnen Arbeiten demnach auf Längen von 1 m.

Wenn das Gewölbe auf etwa 40 m Länge geschlossen war, wurde der mittlere Erdkörper entfernt und das Sohlengewölbe ausgeführt. Dabei entstanden bedeutende Schwierigkeiten. Es wurde nämlich an mehreren Stellen das Widerlagsmauerwerk in den Tunnel hereingedrückt, dadurch wurden Senkungen des Gewölbes herbeigeführt und das Profil derart verschoben und verengt, daß man später zur Erhaltung des Tunnels genötigt war, durch einen Holzausbau das ganze Mauerwerk zu verstärken. Infolge dessen kann der ursprünglich zweigleisig angelegte Tunnel nur eingleisig befahren werden.

In ähnlicher Weise wurde beim Bau des Rosenstein-Tunnels vorgegangen, der in den vierziger Jahren in der Nähe von Stuttgart zur Ausführung gelangte. Das stark drückende Gebirge (sandiger Lehm mit größeren Findlingen) mußte mit besonderer Vorsicht durchfahren werden, weil in einer Höhe von nur 13 m über dem Tunnel ein Schloß liegt.

Der Bauvorgang erhellt aus Fig. 151, S. 176 und den Figuren 5 bis 8, Taf. III. Er unterscheidet sich von dem bei Ausführung des Königsdorfer Tunnels im wesentlichen nur dadurch, daß gegenüber der dortigen Jochzimmerung hier zur Abstützung der Kalotte eine siebenteilige Sparrenzimmerung zur Anwendung kam. —

Fig. 153.

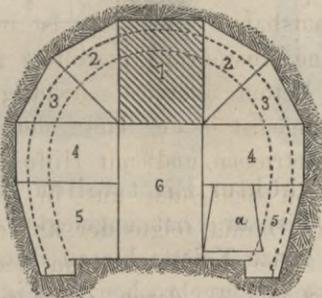
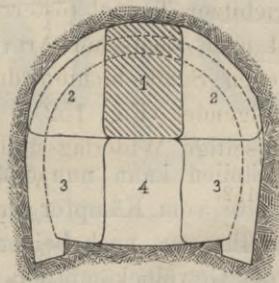


Fig. 154.



Während bei dem Bau der vorstehend beschriebenen Tunnel unter Vortrieb mehrerer Stollen neben- und übereinander zuerst die seitlichen und dann die oberen Teile des Profils hergestellt wurden, verfuhr man in anderen Fällen umgekehrt, indem man erst den Firststollen vortrieb, von da aus die Bogenausweitung folgen liefs und zuletzt den Raum für die Widerlager herstellte. Als Beispiele hierfür dienen: der Weberkogel- und der Wolfsberg-Tunnel am Semmering (in Kalkschiefer und mildem Kalksandstein), deren Bauvorgang aus vorstehender Fig. 153 und den Figuren 12 bis 14, Taf. III zu erkennen ist. Der kleine Stollen *a*, der zuerst vorgetrieben wurde, diente

lediglich zur Verbindung der einzelnen Baustellen, sowie zur Lüftung und Wasserführung, hatte also mit der Bauweise nichts zu thun.

In ähnlicher Weise wurde beim Bau des Czernitzer Tunnels in Oberschlesien vorgegangen (s. vorseitige Fig. 154 und Fig. 11, Taf. III) und hier bei sehr stark drückendem Gebirge (Schwimmsand) der Raum für die Widerlagsmauern von der Bogenerweiterung schachtartig abgesenkt. Der Ausbau der Kalotte selbst wurde auf der größeren Länge des Tunnels mit Sparrenzimmerung, bei einem kleinen Teile indessen, ebenso wie bei den Tunneln der Köln-Giefsener Bahn (Fig. 15, Taf. III), mit Jochzimmerung hergestellt.

### b) Die belgische Tunnel-Bauweise.

Das Wesen dieses Verfahrens besteht, wie bereits hervorgehoben, darin, dafs dabei zuerst das Firstgewölbe und dann die Widerlager hergestellt werden. Der Arbeitsvorgang ist im allgemeinen der, dafs man zuerst den oberen Teil des Profiles, die Kalotte oder Bogenausweitung, bis auf Kämpferhöhe des Gewölbes abbaut, den Raum auszimmert und das Gewölbe auf eine gewisse Länge fertigstellt; sodann die Strosse entfernt, dabei das Gewölbe unterfängt und die Widerlager darunter aufmauert.

Die Ausführung dieser Arbeit gestaltet sich verschieden hauptsächlich in Bezug auf die Reihenfolge, in welcher der Abbau der einzelnen Teile der Bogenausweitung und der Strosse vorgenommen wird. In den zugehörigen schematischen Figuren ist diese Reihenfolge stets durch Numerierung der einzelnen Profiltteile bezeichnet. Was zunächst den Abbau der Bogenausweitung betrifft, so kann dieser in der Regel auf dreierlei Art erfolgen. Bei allen dreien wird mit dem Vortreiben eines Firststollens begonnen, dem die beiderseitigen Bogenausweitungen folgen.

Fig. 155.

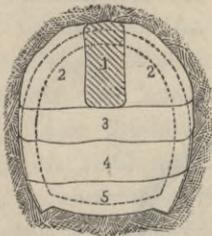


Fig. 156.

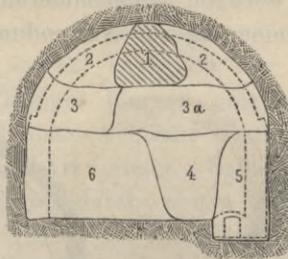
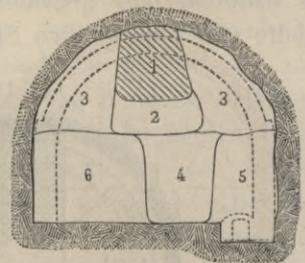


Fig. 157.



Dieser Stollen kann nun erstens als überhöhter Firststollen in der ganzen Höhe der Kalotte vom Kämpfer des Gewölbes bis zur First angelegt werden und es wird dann von ihm aus nach beiden Seiten die ganze Kalotte bis zu ihrer Sohle (d. i. bis zur Höhe des Gewölbekämpfers) in einem Stücke ausgebrochen (s. Fig. 155, Roosebecker Tunnel).

Zweitens kann der Firststollen (1) in üblichen Abmessungen im oberen Teile der Kalotte angelegt werden. Es wird von ihm aus dann entweder zunächst der obere Teil (2, 2) der Kalotte beiderseits abgebaut, und darauf erst der untere Teil (3) bis zur Kämpferhöhe in der ganzen Breite der Sohle nachgenommen; oder es wird zunächst der Firststollen bis zur Kalottensohle vertieft, und darauf werden die beiden seitlichen Teile der Bogenausweitung im ganzen abgebaut (s. Fig. 156 u. 157, Südseite des Gotthard-Tunnels).

Drittens kann der Firststollen in gewöhnlichen Abmessungen im unteren Teile der Kalotte vorgetrieben werden. Es ist dann, aufser dem in je einem oder in mehreren Stücken vorzunehmenden seitlichen Abbau der Kalotte noch die Entfernung des Gebirges über der Firste des Stollens bis zur Firste des Vollaushruches, das sogenannte „Auffirsten“ erforderlich, das entweder vor oder nach der seitlichen Bogenausweitung geschehen kann (s. Fig. 158, 159 u. 160, Nordseite des Gotthard-Tunnels).

Fig. 158.

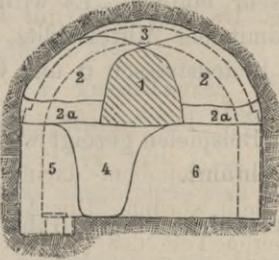


Fig. 159.

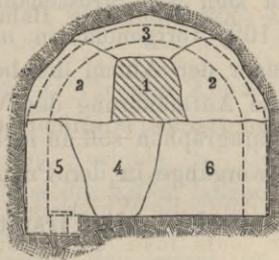
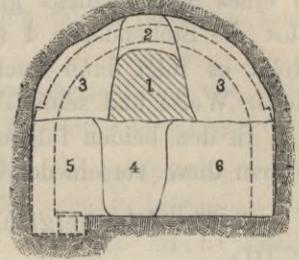


Fig. 160.



In den vorstehend angeführten Beispielen ist der Firststollen zugleich Tunnel-Richtstollen. Die dadurch gekennzeichneten Vorgänge beim Abbau der Bogenausweitung sind indessen alle drei auch bei der Lage des Richtstollens auf der Sohle des Tunnels möglich, nur wird man in diesem Falle den an dritter Stelle beschriebenen Vorgang, der ein sehr unbequemes und bei erforderlicher Verzimmerung sehr kostspieliges „Nachnehmen“ der First (Auffirsten) notwendig macht (vergl. weiter unten die Bau-Beschreibung des Gotthard-Tunnels auf der Nordseite), nicht wählen, denn dieser Bauvorgang entstand lediglich aus dem Mangel einer ein- für allemal festliegenden Betriebssohle, die bei Anlage eines Sohlenstollens in bester Weise vorhanden ist. In den nachstehenden Fig. 161 u. 162 sind Beispiele der beiden oben unter 1. und 2. aufgeführten Bauweisen für den Abbau der Bogenausweitung bei vorhandenem Sohlenstollen gegeben.

Fig. 161.

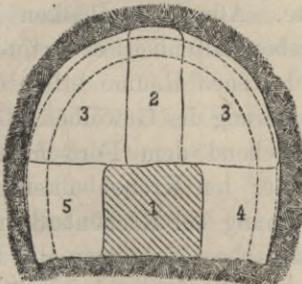


Fig. 162.

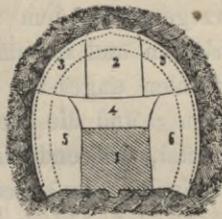
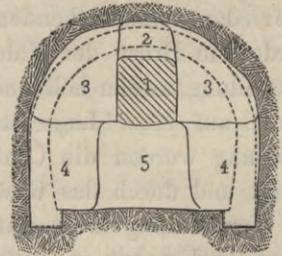


Fig. 163.



Auch beim Abbau des unteren Profilteiles, der „Strosse“, und beim Herstellen des Widerlagers kann man in verschiedener Weise vorgehen; hier ist indessen die Lage des Richtstollens, ob in der oberen oder unteren Profilhälfte, von Einfluss. Liegt er in der oberen Profilhälfte, so kann man die Strosse entweder stufenweise abarbeiten und das Widerlager in gleicher Weise treppenartig, mit der oberen Stufe beginnend, herstellen (vergl. Fig. 155, S. 178 und Fig. 16 bis 21, Taf. III), oder man beginnt mit Herstellung eines bis auf die Sohle des Tunnels reichenden Strössenschlitzes (Fig. 156 bis 160), baut von diesem aus nacheinander die beiderseitigen Strössenteile 5 und 6 ab und mauert dementsprechend die Widerlager von unten auf. Der Strössenschlitz wird seitlich neben der Tunnelmitte hergestellt, um auf einer Seitenstrosse genügenden Raum für die Förderung zu behalten.

Anstatt dieses einen Sohlenschlitzes hat man auch schon deren zwei an den Seiten des Tunnelprofils hergestellt und in diesen die Widerlager aufgeführt. Es wird dann der mittlere Teil der Stosse, der Kern, erst nach Fertigstellung der Gewölbe und der Widerlager beseitigt (Fig. 163).

Bei sehr kurzen Tunneln, für die eine verhältnismäßig lange Bauzeit zur Verfügung steht, kann das Niederbrechen eines Strossenschlitzes ganz vermieden werden, indem man die Stosse vom fertigen Einschnitt aus „vor Kopf“ abbaut. Bei Vorhandensein eines Sohlenstollens gestaltet sich der Strossenabbau sehr einfach. Es wird zunächst die Stollendecke 4 (Fig. 162) fortgenommen und damit der Mittelschlitz hergestellt, es folgt dann nacheinander der Abbau der beiden Seitenstrossen 5 und 6 in gleicher Weise und schliesslich die Aufmauerung der Widerlager.

In den beiden folgenden Paragraphen soll an mehreren Beispielen gezeigt werden, wie man diese verschiedenen Bauvorgänge in der Praxis durchführt.

### § 71. Die belgische Bauweise mit Firststollenbetrieb (Fig. 16 bis 37, Taf. III).

1. **Roosebecker Tunnel.** Der Tunnel von Roosebeek<sup>57)</sup>, etwa 900 m lang, im Zuge der Bahn von Mecheln nach Tirlemont, durchbricht ein aus Sand und Lehm bestehendes Gebirge, das stellenweise Wasser führte und starken Druck äufserte.

Der Bauvorgang bei diesem schmalen, eingeleisigen Tunnel erhellt im allgemeinen aus Fig. 155, S. 178, die Ausführung desselben im einzelnen aus den Fig. 16 bis 21, Taf. III. Für den Abbau der Kalotte wurde von den beiden Voreinschnitten und zwei Schächten aus der hohe Firststollen (1) auf 1 bis 1,5 m Länge vorgetrieben und darin unter der Firstverpfählung zwei Kronenbalken *a* (Fig. 16) eingebaut. Diese wurden an beiden Enden durch Stempel gestützt, die auf den Sohlenschwellen *b* standen. Hierauf folgte die seitliche Ausweitung des Bogens (Fig. 17), d. h. der Abbau des Kalottenteils (2) (Fig. 155, S. 178) zu beiden Seiten des Firststollens, der allmähliche Einbau der übrigen Kronenbalken und deren Abstützung durch „Centralstreben“ *c*, deren Fufs sich auf Knaggen an den zuerst eingebauten Stempeln stützte. Alle Kronenbalken lagen über dem einzuziehenden Gewölbe. Wenn die Gebirgsbeschaffenheit es erforderte, wurde die Brust der Kalotte verzogen. In dem so geschaffenen Raume erfolgte die Aufstellung zweier hölzernen Lehrbögen und sodann die Mauerung des Gewölbes. Dieses wurde auf einer Lage starker Bohlen angesetzt. Entsprechend dem Fortschritt der Wölbung wurden die Centralstreben *c* und die Stempel unter den Kronenbalken *a* beseitigt und durch das Gewölbe ersetzt, während eine Entfernung der Kronenbalken und der Verpfählung nicht stattfand. Nach Schluß des Gewölbes beseitigte man die Lehrbögen und nahm in gleicher Weise den Abbau der Kalotte für das nächste Stück in Angriff, wobei die Unterstützung der Kronenbalken jedoch nur an der Brust durch Stempel und Centralstreben erfolgte, während sie am anderen Ende auf dem geschlossenen Gewölbe ihr Auflager fanden. Sobald das Gewölbe auf eine Länge von 30 bis 40 m fertiggestellt war, schritt man zu dem stufenförmigen Abbau der Stosse (3) (Fig. 155, S. 178). Zu dem Zwecke wurde das Gewölbe auf 1 bis 1,5 m Länge unterhöhlt und durch eine Thürstockzimmerung unterfangen (Fig. 19 bis 21, Taf. III), deren Kappen die Bohlen, auf denen das Gewölbe angesetzt war, stützten, während deren Sohlenschwellen auf einer gleichen Lage von Bohlen ruhten. Auf der letzteren Bohlenlage erfolgte sodann die Aufmauerung des oberen Drittels vom Widerlagsmauerwerk bis an

<sup>57)</sup> Allg. Bauz. 1839.

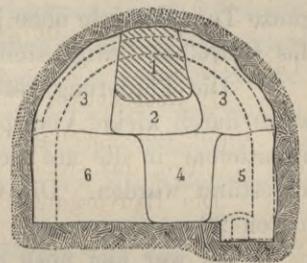
das fertige Gewölbe heran unter einstweiliger Abbölung der oberen Bohlen gegen das Mauerwerk und stückweiser Entfernung dieser Bohlen. Gleichzeitig wurde der übrige Teil der Strosse (3) auf dieselbe Länge von 1 bis 1,5 m entfernt.

Der Abbau der Stufen 4 und 5 der Strosse und die weitere stückweise Herstellung des Widerlagers und des Sohlengewölbes folgte alsdann dieser Arbeit in Stufen von je 30 bis 40 m Länge in ganz gleicher Weise (vergl. Längenschnitte Fig. 21, Taf. III).

Für die Förderung lagen in den verschiedenen Stufen Gleise, die miteinander nicht in Verbindung standen, sodafs ein mehrfaches Umladen der geförderten Massen stattfinden mußte.

**2. Tesch-Tunnel.** Ein Beispiel für den Abbau des mittleren Teiles der Kalotte in zwei Stufen und der Strosse in drei senkrecht begrenzten Teilen bietet der in den Jahren 1877 und 1878 nach dem Vorbilde des Gotthard-Tunnels ausgeführte Bau eines Teiles des 520 m langen Tesch-Tunnels<sup>58)</sup> bei Vohwinkel im Zuge der Rheinischen Eisenbahn von Düsseldorf nach Hörde, dessen Bauvorgang im allgemeinen aus Fig. 164 und im besonderen aus Fig. 22 bis 27, Taf. III zu ersehen ist. Das durchbrochene Gebirge, das aus Schiefer mit vielen schaligen und kugeligen Absonderungen bestand, erwies sich für die Tunnelausführung günstig, da es leicht zu lösen war und doch nur eine leichte Zimmerung erforderle.

Fig. 164.



Zunächst wurde ein Firststollen von 1,80 m Breite und 2 m Höhe vorgetrieben, dessen Sohle man in einer Entfernung von 20 bis 30 m vom Ort um 1,5 m bis auf die Sohle der Kalotte senkte (Fig. 22 u. 27). In diesem 3,50 m hohen Teile des Stollens wurden die Kronenbalken *a* in Längen von etwa 6 m eingebaut und durch die Stempel *b* auf die Kalottensohle abgestützt. Nachdem 50 bis 60 m dieses hohen Stollens fertig waren, folgte die Bogenausweitung (Fig. 23) zu beiden Seiten des Stollens und der allmähliche Einbau der seitlichen Kronenbalken *d*, die durch die Streben *e* gestützt wurden. Sämtliche Kronenbalken lagen unter der äußeren Gewölbeleibung, die Verpfählung über derselben.

In die fertig abgebaute Kalotte wurden zwischen den Streben *e* eiserne, aus alten Hartwich-Schienen oder aus I-Eisen gefertigte Lehrbögen eingebaut (Fig. 24) und durch den Einbau der Hölzer *f*, *g*, *h* noch an zwei Punkten gestützt.

Das 60 bis 100 cm starke, aus Bruchsteinen hergestellte Gewölbe wurde auf zwei nebeneinander in Kämpferhöhe liegenden, 5 cm starken buchenen Bohlen angesetzt, und erhielt in den untersten Schichten besonders ausgesuchte lagerhafte, durchbindende Bruchsteine. Etwa 1 m hoch wurde das Gewölbe bis an das Gebirge in Mörtel voll ausgemauert, im oberen Teile dagegen der Raum hinter demselben trocken ausgepackt. Mit fortschreitender Mauerung entfernte man die Kronenbalken nebst den Centralstreben, indem man die Verpfählung inzwischen auf die Lehrbögen abstützte. Auch die Verpfählung wurde, soweit möglich, beseitigt.

Nach Fertigstellung und Ausrüstung des Gewölbes erfolgte der in Fig. 25 ersichtliche Sohlenschlitz zum Abbau der Strosse. Dieser wurde deshalb nicht in der Mitte des Tunnels angelegt, um auf der Kalottensohle noch Platz für ein Gleis zur Förderung der Massen von und nach den vorn liegenden Arbeitsstellen zu gewinnen.

<sup>58)</sup> Nach gefälligen Angaben des damaligen Abteilungs-Baumeisters Hövel.

Zur Beschleunigung des Fortschrittes bei der Herstellung dieses Einbruchs wurden die in dessen oberem Teile von 1 bis 1,5 m Tiefe gewonnenen Massen in die auf der Kalottensohle befindlichen Förderwagen hinauf verladen, der Rest dagegen mit den auf der Tunnelsohle stehenden Wagen entfernt.

Von diesem Sohlenschlitze aus stellte man das nächstgelegene Widerlager her, indem das Gewölbe auf Strecken von 2 bis 6 m Länge unterhöhlt, durch die in Fig. 26 an dem zweiten Widerlager ersichtlichen Streben *k* gestützt und das Widerlagsmauerwerk von der Sohle des Tunnels bis unter das Gewölbe in einem Stück ausgeführt wurde.

Die Bohlen unter den Kämpfern des Gewölbes entfernte man dann stückweise und mauerte den dadurch entstandenen offenen Schlitz mit dünnen, durchbindenden und gut passenden Steinplatten sorgfältig aus. Dieser Arbeit folgte die Beseitigung des noch stehen gebliebenen Teiles der Strosse und die Herstellung des zweiten Widerlagers in gleicher Weise. Die Arbeiten gingen sämtlich sehr rasch und gut von statten und der ganze Tunnel wurde ohne jeden wesentlichen Unfall und ohne die geringste Verdrückung des Gewölbes fertiggestellt.

Die Förderung geschah in dem kleinen Firststollen auf Gleisen von 60 cm Spurweite durch kleine Vorkippwagen von 0,4 cbm Fassungsraum, mit deren Hilfe die Massen unmittelbar in die auf der Kalottensohle stehenden Wagen von 2,0 cbm Fassungsraum abgestürzt wurden. Die Gleise für die letzteren, sowie die Gleise auf der Tunnelsohle hatten 90 cm Spurweite.

Es war nun noch ein zweites Umladen der gelösten Massen aus den Wagen auf der Kalottensohle in diejenigen auf der Tunnelsohle erforderlich; zu diesem Zwecke wurden die ersteren, die mit den Ausbruchsmassen des Firststollens, des Kalottenschlitzes und der Bogenerweiterung beladen waren, durch die in der Mauerung begriffenen Zonen der Kalotte hindurch gefahren, bis sie in die auf der Sohle des Tunnels stehenden Wagen mit Hilfe einer einfachen Schüttrinne gekippt werden konnten. Die Mauermaterialien wurden mit Hand von der unteren auf die obere Sohle gehoben.

**3. Gotthard-Tunnel.** Das hervorragendste, aber nicht gerade mustergiltige Beispiel für den Bau nach belgischer Bauweise bietet der große Gotthard-Tunnel.<sup>59)</sup> Hier stellte man teils den Firststollen, teils auch die Bogenausweitung in zwei Stufen her, ferner war der Bauvorgang auf der Süd- und Nordseite insofern verschieden, als der Firststollen auf der Südseite in der Firste des Tunnels und auf der Nordseite auf der Kalottensohle lag.

1. Südseite. a) In gebrächem Gestein, wo die Firste nicht ohne Holzeinbau stand, war der Bauvorgang ebenso wie oben bei der Beschreibung des Tesch-Tunnels angegeben:

Der Richtstollen (1) (s. Fig. 164, S. 181) von 2,50 m Höhe und 2,60 m Breite wurde zuerst vorgetrieben. Er lag so hoch, daß seine Firste mit der des Vollaubruches zusammenfiel. Es folgte in einer Entfernung von etwa 500 m die Vertiefung (2) der Sohle bis auf die Tiefe der Kalottensohle, der Einbau der Kronenbalken, die Bogenausweitung (3) und mit dieser gleichzeitig der Einbau der weiteren Zimmerung (Fig. 29, Taf. III). Hierauf wurden eiserne Lehrbögen von solcher Stärke aufgestellt, daß sie einer weiteren Unterstützung durch Holzeinbau nicht bedurften, dann die Mauerung des Gewölbes unter Auswechslung und Beseitigung der Zimmerung ausgeführt (Fig. 29) und die Lehrbögen entfernt.

<sup>59)</sup> Dolezalek. Firststollenvortrieb im Gotthard-Tunnel. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878.

Nach Schluß des Gewölbes schritt man zur Herstellung des Sohlenschlitzes (4), Fig. 149, S. 176, zur Erweiterung (5) desselben, zur Unterhöhlung und Unterfangung des Gewölbes, zur Mauerung des nächstgelegenen Widerlagers mit dem Wasserabzugskanal und schliesslich zur Entfernung des Strossenteils (6) und Herstellung des zweiten Widerlagers.

Die Entfernung dieser einzelnen Arbeitsstellen voneinander mußte mindestens 150 m betragen, damit die Arbeiter nicht durch die Sprengstücke von der nächsten Arbeitsstelle her gestört wurden. In Wirklichkeit waren diese Entfernungen beim Bau des Gotthard-Tunnels weit größer; Ende 1878 betragen sie sogar stellenweise mehr als 1000 m. Um diese Verzögerung wieder einzuholen, hat man an mehreren Stellen von der Kalottensohle aus Absenkungen vorgenommen, indem man seitlich mit Hilfe von Rampen bis auf die Sohle des Tunnels hinunterging, wie aus dem Längenprofil und der Grundriffszeichnung Fig. 30 u. 31, Taf. III ersichtlich; dann von hier aus den Sohlenschlitz (4), die Ausweitung (5) und schliesslich das Widerlagsmauerwerk herstellte. Die Förderung nach den weiter rückwärts gelegenen Arbeitsstellen wurde dadurch nicht erheblich gestört, da das Fördergleis auf dem stehenbleibenden Teile (6) der Strosse noch hinreichend Platz fand, woselbst gleichfalls die Wasserrösche angelegt werden mußte. Derartige Absenkungen konnte man natürlich nur an solchen Stellen vornehmen, wo der Wasserandrang nicht zu stark war, da das zusitzende Wasser auf die Kalottensohle gehoben werden mußte.

In Betreff der Förderung der Berge vor Ort des Richtstollens ist das Verfahren in § 42 besprochen; es bleibt hier jedoch der weitere Verlauf der Förderung zu erläutern. Die Fördergleise von 1 m Spurweite, die anfänglich auf den Bausohlen in verschiedenen Höhen lagen, sind später durch Rampenanlagen miteinander verbunden, von denen diejenige von dem Firststollen zur Kalottensohle eine Neigung von 4% und diejenige von der Kalottensohle zur Tunnelsohle eine solche von 2,5 bis 3% hatten. Früher waren an Stelle der Rampenanlage zur Verbindung der Kalottensohle mit der Tunnelsohle Schüttrinnen und Elevatoren in Gebrauch, durch erstere wurden die Berge aus den Wagen in der oberen Sohle unmittelbar in die Wagen der unteren Sohle abgestürzt, während die Elevatoren dazu dienten, die einzufördernden Baumaterialien u. s. w. zu heben. Diese Anlagen wurden jedoch aufgegeben, weil die Förderung auf den Rampen billiger, sicherer und rascher zu bewerkstelligen war. Ein Übelstand bei den Rampenanlagen bestand indessen in ihrer schwierigen Verlegung, die noch mehr Aufenthalt verursachte, als dies schon bei Versetzung der Schüttrinnen und Elevatoren in unwillkommener Weise der Fall war. Man suchte daher diese Verlegungen thunlichst zu beschränken, indem man den Teil (6) der Strosse auf möglichst langen Strecken stehen liefs; vergl. Fig. 31, Taf. III, welche die Anordnung der Fördergleise darstellt.

Der Transport der Förderwagen wurde im Firststollen vom Ort bis zur nächsten etwa 100 bis 200 m rückwärts gelegenen Ausweichestelle durch Menschen bewirkt, von dort über die weiter rückwärts gelegenen Arbeitsstellen und Rampen hinweg bis auf die Tunnelsohle wurden Pferde, und von hier an bis zur Tunnelmündung Lokomotiven vorgespannt, welche die erforderliche Druckluft in besonderen Luft-Tendern mit sich führten.

b) In festem Gebirge erfolgte der Abbau der Kalotte vollständig in zwei Stufen (Fig. 156, S. 178), was hier keine Schwierigkeit verursachte, da die Firste ohne alle Zimmerung stand, und das bei einem Holzeinbau störende und zeitraubende Unterfangen der Zimmerung ganz wegfiel. Die Fertigstellung des Richtstollens nahm man ausschliesslich mit Maschinenbohrung vor (§ 37). Die dem Stollen nachfolgende Bogenausweitung

(2) und die Herstellung des Kalottenschlitzes (3) wurden gleichfalls mit Maschinenbohrung bewirkt, während die Erbreiterung (3a) des unteren Kalottenteiles nur mit Handbohrung geschah. Die Wölbung der Kalotte, sowie der Abbau der Strosse und die Herstellung der Widerlager erfolgte wie vorstehend beschrieben. Maschinenbohrung fand beim Abbau der Strosse im allgemeinen keine Anwendung, um durch die schweren Schüsse das Gewölbemauerwerk nicht zu beschädigen, was bei Handbohrung durch die schwächeren und zweckmäßiger gerichteten Schüsse nicht der Fall war. Nur ausnahmsweise, wenn die Firste so fest war, dafs das Einziehen des Gewölbes nicht sofort nach Fertigstellung der Kalotte zu geschehen brauchte, wurde der Teil (4) des Sohlenschlitzes mit Maschinenbohrung betrieben. Auch dann wurden jedoch die Teile (5) und (6) mit Handbohrung hergestellt.

2. Nordseite. a) In gebrächem und mildem Gebirge, in dem die Firste nicht ohne Holzeinbau stand, wurde der Richtstollen (1) auf der Sohle der Kalotte (Fig. 160, S. 179) angelegt und wie Fig. 28, Taf. III zeigt, ausgebaut. Diesem folgte das „Auffirsten“ (2), d. i. die Erhöhung des Stollenprofils bis zur Firste des Vollaussbruches, der Einbau der Kronenbalken, die beiderseitige Ausweitung (3) und die Auszimmerung der Kalotte. Die weitere Ausführung geschah wie auf der Südseite.

b) In festem Gebirge, das den Vorgang ohne Zimmerung gestattete, wurde der Richtstollen auf der Kalottensohle wie vorstehend mit Maschinenbohrung vorgetrieben. Ihm folgte die anfangs gleichfalls mit Maschinenbohrung hergestellte Ausweitung (2) (Fig. 159, S. 179) und dann mit Handbohrung der über der Firste zurückgebliebene Teil (3). Diese letztere Arbeit, die von kleinen Bockgerüsten aus vorgenommen werden mußte, verursachte vielfache Schwierigkeiten, weil sie wegen der vorbeifahrenden Rollwagen häufig unterbrochen werden mußte. Man suchte sie daher möglichst zu beschränken, indem man auf die in Fig. 158, S. 179 angegebene Weise arbeitete, wobei dann der Teil (2a) der Kalottenausweitung, der nur noch wenig verspannt und teilweise durch die früheren Schüsse schon gelöst war, nachträglich mit Handarbeit beseitigt wurde. Der weitere Ausbau geschah in gleicher Weise wie auf der Südseite.

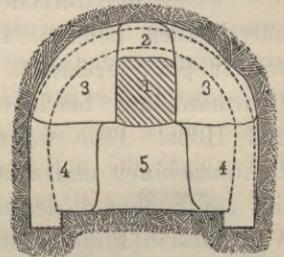
Es ist eine auffallende Erscheinung, dafs man beim Bau des Gotthard-Tunnels auf der Südseite den Vorgang mit dem hoch in der Firste gelegenen Richtstollen, auf der Nordseite mit dem um etwa 1,5 m tiefer auf der Kalottensohle gelegenen Stollen beibehielt, und dafs man trotz der jahrelangen Erfahrungen die Frage nach dem Vorzuge der einen oder anderen Anordnung nicht hat entscheiden können. Der Vorteil der ersteren Anordnung besteht darin, dafs durch den hoch gelegenen Richtstollen das sehr störende und kostspielige Nachnehmen der Firste vermieden wird. Diesem Vorzuge steht als Nachteil gegenüber: die häufige Verlegung der Rampe zum Übergange von der Firststollensohle und die damit verbundene Verlegung der Luft- und Wasserleitungsröhren und des Gleises, die ohne Störung der Förderung erfolgen muß.

Ihre Erklärung findet diese Erscheinung in dem Umstande, dafs die Nachteile, die man bei den verschiedenen Anordnungen auf der Südseite und der Nordseite zu vermeiden suchte, dem Firststollenbetriebe als solchem anhaften und bei diesem überhaupt nicht zu vermeiden sind, weil ein hoher, von der Sohle bis zur Firste der Bogenausweitung reichender Stollen bei rascher Herstellung mittels Maschinenbohrung seiner unzweckmäßigen Höhe wegen ganz ausgeschlossen ist und auch bei Handbohrung grofse Unbequemlichkeit für die Ausführung der Bogenausweitung bietet. Rechnet man noch dazu die ungemainen Erschwerungen, die sich bei den Niederbrüchen im Gotthard-Tunnel ergaben, als sich im Verlaufe des Baues die Notwendigkeit herausstellte, auch

den Abbau der Strosse und den der Kalotte mit Hilfe mehrerer Angriffspunkte betreiben zu müssen, wobei mit den Arbeiten naturgemäß tief unter die Fördersohle und die Wasserrösche des Firststollens herabgegangen und das zuzitzende Wasser, sowie die gelösten Berge bis auf Firststollenhöhe gehoben werden mußten, so ist es kaum verständlich, daß die Unternehmer des Gotthard-Tunnels trotz der vieljährigen übeln und kostspieligen Erfahrungen nicht schließlichs zum Sohlenstollenbetrieb übergangen, durch den in einfacher Weise alle die angeführten Schwierigkeiten zu beseitigen gewesen sein würden. Der Bauvorgang bei dem Bau des großen Gotthard-Tunnels muß als verfehlt bezeichnet werden und verdient nur insofern Interesse und Beachtung, als er ein lehrreiches Beispiel dafür bietet, wie man beim Bau größerer Tunnel, zumal Alpentunnel, nicht vorgehen soll.

**4. Tunnel von St. Cloud.** Während bei den beiden zuletzt beschriebenen Tunnelbauten nach Fertigstellung des Gewölbes zuerst ein einzelner Strossenschlitz und von diesem aus die beiderseitige Ausweitung für das Widerlagsmauerwerk ausgeführt wurde, hat man bei einigen älteren Tunnelbauten in Frankreich, z. B. beim Tunnel von St. Cloud<sup>60)</sup>, nach dem aus Fig. 165 ersichtlichen Vorgange zwei Strossenschlitze auf den Seiten des Profils einander folgend für die Herstellung der Widerlager abgebaut, um in ihnen das Mauerwerk auszuführen (Fig. 33, Taf. III). Auf die Länge der schmalen Strossenschlitze blieben während dieser Arbeit die Lehrbögen stehen und stützten das Gewölbe auf den mittleren Teil der Strosse, den „Kern“ ab. Nach Fertigstellung der Widerlager wurden die Lehrbögen und der Kern beseitigt. Dieser Bauvorgang, der auch wohl die „französische Bauweise“ genannt wird, unterscheidet sich von der deutschen Bauweise nur dadurch, daß zuerst das Gewölbe und dann das Widerlager ausgeführt wird.

Fig. 165.



**§ 72. Die belgische Tunnel-Bauweise mit Sohlenstollenbetrieb.** Die Anwendung eines Sohlenstollens bei Ausführung eines Tunnelbaues nach der belgischen Bauweise ist nicht so neu, wie man bei der noch heute vielfach anzutreffenden Ansicht, daß diese Methode den Sohlenstollenbetrieb ausschließt, annehmen sollte. Selbst in Deutschland wurde schon in den vierziger Jahren der Bau der bereits erwähnten hessischen Tunnel bei Hönebach, Beisfurth und Guxhagen nach der belgischen Bauweise mit vorauseilendem Sohlenstollen unter Leitung des belgischen Ingenieurs Spingart durchgeführt.

**1. Hönebach-Tunnel.** Der Bauvorgang bei diesem Tunnel ist schematisch in nachstehender Fig. 166 (S. 186) dargestellt. Von dem voreilenden Sohlenstollen aus wurde der hohe Firststollen 2 (Firstenschlitz) hergestellt, dessen Zimmerung sich auf die Kappen der Sohlenstollengeviere aufsetzte (Fig. 167). Nachdem dieser Firstenschlitz eine Länge von 6 bis 8 m erreicht hatte, folgte die Ausweitung des Bogenortes zu beiden Seiten vom Firstenschlitz her und die Verzimmerung des Bogenortes in der in Fig. 32, Taf. III dargestellten Weise, worauf mit der Herstellung des Gewölbes in dem freigestellten Bogenorte in Längen von 6 bis 8 m vorgegangen wurde. Bei dem Beseitigen der Seitenstrossen und bei dem in Längen von 1 bis 2 m vorgenommenen Unterfangen des Gewölbes zur Aufmauerung der Widerlager liefs man die Lehrbögen stehen und stützte diese mittels Stempel auf die Tunnelsohle ab.

<sup>60)</sup> Allg. Bauz. 1839.

Fig. 166.

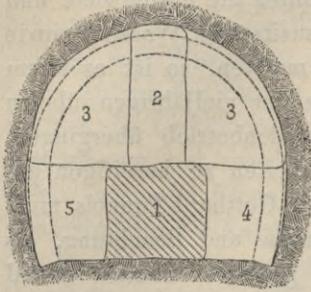


Fig. 167.

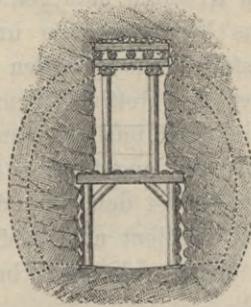
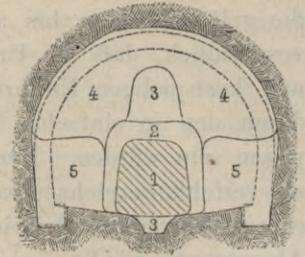


Fig. 168.



**2. Mont Cenis-Tunnel.** Ein hervorragendes Beispiel für diese Anordnung bietet ferner der Mont Cenis-Tunnel (1857 bis 1871), dessen Bauvorgang in Fig. 168 schematisch dargestellt ist.

Das durchbrochene Gebirge war so fest, daß eine Auszimmerung des Tunnels unterbleiben konnte. Der Sohlenstollen (1) von 2,6 m Höhe und 2,9 m Breite wurde, wie in § 37 erläutert, mit Bohrmaschinen vorgetrieben. Ihm folgte eine mit fünf Bohrmaschinen betriebene Erbreiterung und Erhöhung des Stollens auf 3,6 m Breite und Höhe. Eine weitere Erhöhung (3) des Stollens auf 5,5 m wurde ebenfalls mit Bohrmaschinen und zwar mit zwei Stück betrieben. Der Bohrwagen für die letzteren lief auf Schienen, deren Unterlage aus Kappen in der Firste des Sohlenstollens bestand. Von diesem Firstenschlitz aus nahm man die Ausweitung (4) der Kalotte mit Handbohrung und sodann die Herstellung des Gewölbes vor. Die Entfernung der seitlich noch stehenden Teile (5) der Strosse wurde gleichfalls mit Handbohrung bewirkt, dann das Gewölbe unterfangen und die Widerlager gemauert.

In beiden angeführten Beispielen konnte sowohl das Fördergleis, als auch die Wasserrösche, beim Mont Cenis-Tunnel konnten auch die Luftleitungsröhren im Sohlenstollen von vornherein dauernd für den ganzen Baubetrieb untergebracht werden, damit wurde der Bau für seine ganze Länge durchaus gleichmäÙig, während bei den im vorigen Paragraphen angeführten Ausführungen die genannten wichtigen Bauanlagen mit dem Fortschreiten des Abbaues der Strosse häufige Verlegungen notwendig machten, die namentlich bei dem beschleunigt auszuführenden Gotthard-Tunnel mit seinen Niederbrüchen unendlich erschwerend und hemmend auf den Baubetrieb, der dabei auch stetem Wechsel unterlag, wirken mußten. Trotz dieses großen Vorteils war bei dem Hönebacher, wie bei dem Mont Cenis-Tunnel ebenfalls ein zweiter Stollen vermieden, der von vielen als eine überflüssige Verteuerung des Baues angesehen wird. Der bei diesen Tunneln hergestellte Firstenschlitz ist mindestens ebenso leicht auszuführen, als der beim Firststollenbetrieb herzustellende Sohlenschlitz. Jener ist von unten nach oben, dieser von oben nach unten abzubauen.

Die Vorteile der belgischen Bauweise mit Sohlenstollenbetrieb kommen aber erst voll zur Geltung, wenn man statt des Firstenschlitzes mit Hilfe von Aufbrüchen vom Sohlenstollen aus einen Firststollen treibt und von diesem aus zu beiden Seiten das Bogenort nur bis zur Firststollensohle oder nötigenfalls tiefer, aber doch nicht bis zur Firste des Sohlenstollens herab abbaut, sodafs zwischen beiden Stollen noch immer eine Gebirgsdecke stehen bleibt, die stark genug ist, während der Arbeiten im oberen Profil eine sichere Schutzdecke für den Stollenbetrieb zu bilden. Damit erhält man für den ganzen Tunnelbau-Betrieb zwei vollständig getrennte Bausohlen, was für einen raschen,

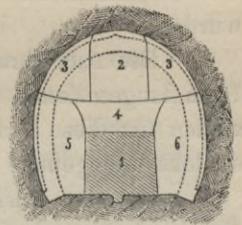
ungestörten Baufortschritt von größter Wichtigkeit ist und was die sehr fraglichen, jedenfalls aber nur unbedeutenden Mehrkosten vielfach aufwiegt, die durch Herstellung eines Firststollens, bei dem die leicht abzubauenende Decke zwischen beiden Stollen später noch zu entfernen bleibt, gegenüber einem Firstenschlitz entstehen.

Bei den neueren Tunnelbauten nach belgischer Bauweise in Deutschland hat man in richtiger Würdigung der erwähnten erheblichen Vorteile, in Vergleich mit denen gewisse Schwierigkeiten bei der Belüftung der Aufbrüche (vergl. § 96) gering anzuschlagen sind, aufser dem Sohlenstollen auch einen Firststollen hergestellt. Dieser Bauvorgang ist an folgendem Beispiele näher erläutert.

**3. Marienthaler Tunnel (Taf. IV).** Der Tunnel bei Marienthal im Zuge der einleisigen Bahn von Altenkirchen nach Au (Westerwald) durchfährt das gleiche Gebirge wie der Kaiser Wilhelm-Tunnel bei Cochem, Grauwackenschiefer (Coblenschichten).

Da der Tunnel in seiner ganzen 1040 m betragenden Länge in einer Steigung von 1:65 liegt, so wurde der Baubetrieb zur Vermeidung kostspieliger Wasserhaltung und erschwelter Förderung der gelösten Berge, sowie zur Vereinfachung des ganzen Baues auf eine, die untere Seite des Tunnels beschränkt. Um dabei die gegebene Bauzeit von rund zwei Jahren einhalten zu können, mußte der auf der Tunnelsohle hergestellte Richtstollen mit Maschinenbohrung aufgeföhren werden, der Abbau aller übrigen Profiltteile geschah von Hand. Die Beschreibung dieses

Fig. 169.



Stollenbetriebes ist im § 37 gegeben, auf den wir hier verweisen. Der weitere Bauvorgang ist schematisch in Fig. 169 und in seiner Durchführung auf Taf. IV dargestellt. Dem Sohlenstollen folgt zunächst die Herstellung des Firststollens 2. Zu diesem Zwecke wurden an mehreren Stellen des vorausseilenden Sohlenstollens schachtartige Aufbrüche nach oben bis zur Firste des Tunnelprofils hergestellt, um von diesen aus an mehreren Stellen gleichzeitig in beiden Richtungen den Firststollen zu betreiben, vergl. Fig. 170. Solche Arbeitsstellen für den Vortrieb des Firststollens, der auf die Tageszeit beschränkt blieb, waren 5 bis 6 notwendig, um denselben Fortschritt, wie er mit Hilfe der Maschinenbohrung bei Tag- und Nacharbeit im Sohlenstollen erzielt wurde, zu erreichen.

Fig. 170.



Von diesem Firststollen aus erfolgte gleichzeitig nach beiden Seiten die Ausweitung des Bogenortes, der Abbau der Profiltteile 3 (Fig. 169), wobei jedesmal eine Länge von 10 m in Angriff genommen wurde. Diese Arbeit begann mit dem Einbau der 10 m langen Kronbalken *a* (Fig. 3, Taf. IV) und ihrer Abstützung mit den Stempeln *c* auf der Sohle des Stollens, wodurch die ursprüngliche Abstempelung der Stollenkappen *k* entbehrlich wurde. Alsdann wurde zu beiden Seiten das Gebirge soweit entfernt, daß die Kronbalken *b* mit den Stempeln *e* eingebaut werden konnten, wobei man durch entsprechende Verpfählung für die Sicherung der Firste Sorge trug. Es erübrigte dann noch der Ausbruch der Profillecken hinter den Kronbalken *b*, um damit ohne weiteres den erforderlichen Raum für die Ausführung der Gewölbekappe zu gewinnen.

Bevor man hiermit begann, wurde zunächst noch die Bogenausweitung in einer zweiten, 10 m langen Zone, anschliessend an die erstere in gleicher Weise vorgenommen und erst dann, als die dritte Zone seitens der Bergleute in Angriff genommen werden konnte, begann man in der ersten Zone mit der Aufmauerung der Gewölbekappe. Diese erhielt in der Regel eine Stärke von 0,5 m und wurde aus lagerhaften Grauwacken-Bruchsteinen in einfachem Kalkmörtel (hydraulischem Kalk) hergestellt. Als Unterlagen der ersten Gewölbeschichten dienten 5 cm starke Bohlen, die sorgfältig in Höhe und Richtung gelagert waren. Während der Herstellung des Gewölbeschlusses in der ersten Zone wurde schon mit der Mauerung der zweiten begonnen, es waren dann die bergmännischen Arbeiten in der dritten Zone beendet und seitens der Bergleute die vierte Zone in Angriff genommen. In gleicher Weise wurden die Maurer- und bergmännischen Arbeiten zur Herstellung der Gewölbekappe ununterbrochen nacheinander fortbetrieben. Das Freihalten einer im Ausbruch fertigen Zone zwischen den beiden Arbeiten war zweckmässig, einmal um die Maurerarbeiten durch die Schiefsarbeiten nicht zu beschädigen und möglichst wenig zu behindern, sodann auch um Raum für das Vorziehen der bei der allmählichen Aufführung des Gewölbes freiwerdenden Kronbalken zu gewinnen.

In jeder Zone wurde ein Rolloch (Fig. 9, Taf. IV) hergestellt, d. h. eine schachtartige Öffnung zwischen dem First- und Sohlenstollen, durch welche die gelösten Berge in die im Sohlenstollen aufgestellten Förderwagen gestürzt und umgekehrt die Mauermaterialien vom Sohlenstollen in die Bogenausweitung mit Hand befördert wurden.

Die Ausführung der Bogenausweitung und die Herstellung des Gewölbes in den 10 m langen Zonen erfolgte in der Zeit von sechs Arbeitstagen, sodafs nur zwei Arbeitsstellen für diese Arbeiten erforderlich waren, um das durch den Fortschritt des Sohlenstollens angegebene Zeitmafs einhalten zu können.

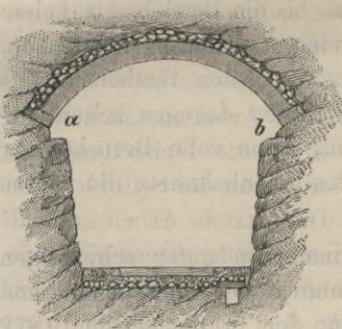
Mit der Ausführung des Gewölbes sind die wesentlichen Arbeiten, namentlich die bergmännischen, geschehen; der Abbau des Profilteiles 4, die Herstellung des Mittelschlitzes bietet keinerlei Schwierigkeiten, ebensowenig der Abbau der Seitenstrossen und die Aufführung der Widerlager (Fig. 6 u. 7, Taf. IV). Die letztere Arbeit geschah in Längen von 6 m derartig, dafs niemals einander gegenüberliegende Strossen gleichzeitig in Arbeit waren. Die Abstützung des Gewölbes erfolgte dabei in der aus den Fig. 6, 7 u. 9 ersichtlichen Weise. Eine Widerlagslänge von 6 m wurde in der Regel in vier Arbeitstagen fertiggestellt.

Bei Beginn des Baues hatte man für die Stellen mit milderem, druckhaften Gebirge, welches befürchten liefs, dafs die unbekleideten Gebirgswiderlager bei 4 m freier Höhe, wie sich solche bei dem beschriebenen Bauvorgange ergab, nicht mit genügender Sicherheit stehen würden, eine Vertiefung der Sohle in der Bogenausweitung vorgesehen, die nach Fig. 10 vorgenommen werden sollte. Es erwies sich indessen diese Vorsichtsmafsregel im Verlaufe des Baues als unnötig, da bei den kleinen Profilaufschlüssen und der rasch erfolgenden Mauerung ein gröfserer Gebirgsdruck selbst in milderem Gebirge sich kaum bilden konnte. Es wurde der oben beschriebene Bauvorgang für den ganzen Tunnel durchgeführt, nur liefs man in druckfähigem Gebirge die Zwischendecke zwischen beiden Stollen länger stehen und entfernte dieselbe erst dann auf kürzere Länge als 6 m, wenn man an den betreffenden Stellen unmittelbar danach zum Abbau der einen Seitenstrosse und zur raschen Aufführung des Widerlagers daselbst schreiten konnte, wobei die gegenüberliegende Strosse durch Bolzen zwischen dem Gewölbe und der auf dieser Seite stehengelassenen Stollenzimmerung abgestützt wurde.

Der ganze Tunnelbau, für den der im dritten Abschnitt dieses Kapitels unter IV. in § 116 mitgeteilte Arbeitsplan (vergl. Fig. 11 u. 12, Taf. IV) vorher in allen Einzelheiten aufgestellt war, wurde in der Zeit von Juni 1885 bis Januar 1887 gleichmäÙig rasch und ohne jede Störung durchgeführt.

4. Krähberg-Tunnel<sup>61)</sup> (Bahnlinie Erbach-Eberbach im Odenwalde). Der in den Jahren 1880 bis 1882 erbaute eingleisige Krähberg-Tunnel ist mit seiner Länge von 3100 m der zweitlängste Tunnel in Deutschland (Kaiser Wilhelm-Tunnel bei Cochem 4200 m lang; Brandleite-Tunnel in Thüringen 3033 m lang). Das von ihm durchfahrene Gebirge besteht aus Buntsandstein und zeigte sich teilweise so standfähig, dafs an einzelnen Stellen ein gemauertes Widerlager fortgelassen werden konnte; an diesen Stellen geschah der endgiltige Ausbau nach Fig. 171. In der überwiegend gröÙten Länge wurde der Tunnel indessen nach Fig. 172 mit beiderseitigem Widerlager ausgebaut. Das Gewölbe wurde aus Quadern in einer Stärke von 0,4 m, stellenweise in einer solchen von 0,5 und 0,6 m in stumpf voreinanderstossenden Längen von 8 bis 12 m hergestellt. Die erste Grundschicht (Kämpfer) des Gewölbes erhielt eine 10 cm gröÙere Stärke als die übrigen, um den Gewölbedruck auf das Widerlager besser zu übertragen und um beim Unterfangen des Gewölbes behufs Einbauens der Widerlager das Herabfallen der trocken verpackten Hintermauerungssteine zu verhüten. Die Widerlager wurden 20 cm stärker als das Gewölbe aus bearbeiteten Bruchsteinen hergestellt.

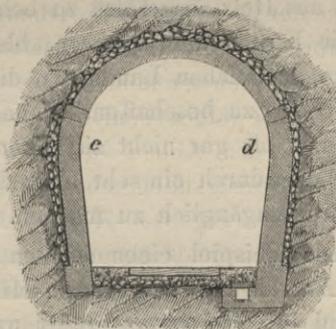
Fig. 171.



$ab = 6,0$  m      Lichte Höhe 5,7 m.

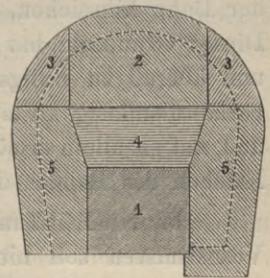
Lichte Weite in Schwellenhöhe 4,4 m.

Fig. 172.



$cd = 5,0$  m.

Fig. 173.



Fläche 1 = 6 bis 7 qm.

Fläche 2 = 9 bis 11 qm.

Die Ausführung des Tunnels erfolgte in ganz ähnlicher Weise wie bei dem Marienthaler Tunnel; auch hier wurde der Sohlenstollen zum gröÙten Teile (aber von beiden Enden her) mit Maschinenbohrung (System Frölich) aufgeföhren, dem nacheinander die Herstellung eines Firststollens 2 (Fig. 173), der Abbau der Profilteile 3 der Bogenausweitung und nach beendeter Ausführung des Kappengewölbes die Herstellung des Mittelschlitzes 4 und der beiden Strossen 5, sowie Aufmauerung der Widerlager folgte. In den Fig. 173 bis 176 (S. 190) ist dieser Vorgang nebst der angewandten Zimmerung dargestellt. Auch bei diesem Tunnel hat sich die belgische Bauweise mit Sohlenstollenbetrieb vorzüglich bewährt, sowohl was die rasche und billige Ausführung, als auch was die Sicherheit des ganzen Baues anbelangt.

<sup>61)</sup> Dolezalek. Mitteilungen über den Bau des Krähberg-Tunnels. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1881, S. 146—150.

Fig. 174.

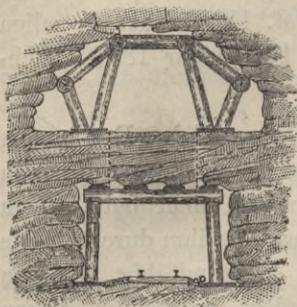


Fig. 175.

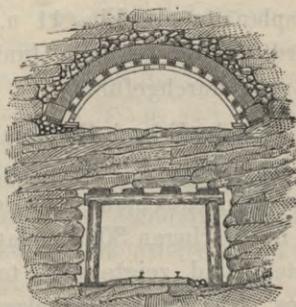


Fig. 176.



M. 1 : 200.

**§ 73. Die belgische Bauweise mit Anwendung der amerikanischen Zimmerungsart.** Eine eigentümliche Tunnelausführung nach belgischer Bauweise hat sich in den Vereinigten Staaten Nord-Amerikas ausgebildet.<sup>62)</sup> Sie ist gekennzeichnet durch die Art der Zimmerung der Kalotte, die in einem vollständigen, aus Holzblöcken gebildeten Gewölbe besteht, unter dessen Schutz später die Herstellung des Mauerwerks erfolgt, und zwar meist ohne Auswechslung, sodass das Holzgewölbe über dem Mauerwerke liegen bleibt. Diese Art der Zimmerung findet ihre Erklärung darin, dass sie lange Zeit, oft Jahre hindurch auch nach der Betriebseröffnung als einzige Unterstützung der meist eingleisigen Tunnel bestehen bleibt, entsprechend dem Grundsatz der amerikanischen Bahnen, ihre Kunstbauten (auch Brücken, Viadukte u. s. w.) zunächst so lange aushilfsweise aus Holz ausgeführt zu belassen, bis die Betriebserträge der Bahn hinreichen, um die Kosten der massiven, bleibenden Ausführung zu decken. Dieser Grundsatz hat in dem holzreichen Lande, wo die vorzüglichsten Bauhölzer stets und überall zu billigsten Preisen zu beschaffen, Mauermaterialien dagegen selten, unverhältnismäßig kostspielig und oft gar nicht zu haben sind, seine volle Berechtigung und hat es allein ermöglicht, dort durch ein sehr ausgedehntes Eisenbahnnetz die weiten Flächen des Landes der Kultur zugänglich zu machen.

**Church-Hill-Tunnel.** Als Beispiel eines solchen Tunnelbaues unter schwierigen Verhältnissen soll hier die Ausführung des Church-Hill-Tunnels der Chesapeake- und Ohio-Eisenbahn bei Richmond in Virginia angeführt werden, der in den Jahren 1872 bis 1876 nach dem von dem Ober-Ingenieur C. B. Fisk bereits in den 60er Jahren beim Bau des Red-Hill-Tunnels derselben sehr tunnelreichen Eisenbahn zum erstenmale angewandten Systeme erbaut wurde. Der Church-Hill-Tunnel ist zweigleisig, 1200 m lang und führt in festem, meist trockenem Thonboden bei geringer Tiefe von 20 bis 35 m unter den Häusern und Strafsen der Stadt hindurch. Einzelne Wasseradern und die dadurch verursachten ungünstigen Druckverhältnisse erschwerten den Bau erheblich, bei dem auch, entgegen dem sonst üblichen Verfahren, die Mauerung der Zimmerung bald nachfolgte; aber immerhin in solchen Zwischenräumen, dass das Holzgewölbe bis zu 12 Monaten die einzige Unterstützung bildete.

Der Bauvorgang erhellt im allgemeinen aus Fig. 34 bis 37, Taf. III. Es wurden zunächst die beiden in Fig. 34 punktiert angegebenen Stollen (1) 1,50 m hoch und 0,75 m breit in der Kämpferhöhe des Gewölbes vorgetrieben. Diese standen ohne alle Zimmerung. Auf deren Sohlen wurden starke Längshölzer *d* als Gewölbekämpfer für die

<sup>62)</sup> H. S. Drinker. On Tunneling. New-York 1878.

rippenartig einzubauenden Holzbögen *a* gelegt. Dem Vortrieb dieser Stollen folgte die Ausweitung der Kalotte in Längen bis zu 1,5 m so weit, wie das Gebirge ohne Unterstützung stand. In diesem Raume stellte man sodann leichte hölzerne Lehrbögen *b* auf. Diese waren aus vier 4 cm starken Bohlen angefertigt, die durch zwischengelegte, mit ihnen verübelte und vernagelte, 6 cm starke Holzklötze die nötige Steifigkeit erhielten. Auf diesen Lehrbögen wurde der Holzbogen aus 30 cm im Quadrat starken, 1 m langen Blöcken ohne alle Verübelung oder sonstige Befestigung der einzelnen Teile unter sich zum Schlufs gebracht, sodann die Verpfählung hergestellt und die Lehrbögen entfernt. Den einzigen Längsverband der einzelnen Holzblockbögen unter sich bildeten einige an der Innenseite derselben angenagelte, 5 cm starke Bretter. Die Entfernung der Bogen voneinander betrug von Mitte zu Mitte 0,75 bis 1,5 m, an einzelnen druckreichen Stellen lagen sie jedoch unmittelbar aneinander.

Hierauf schritt man zum Unterfangen dieses Holzgewölbes und zur Entfernung der Strosse, indem man zu deren beiden Seiten in etwa 1 m Entfernung von den Kämpfern 60 cm breite senkrechte Schlitze *c* bis auf die Sohle des Tunnels in die Strosse hineinarbeitete und von diesen aus rechtwinkelig zu ihnen schmale Schlitze bis unter die Kämpfer *d* des Holzgewölbes herstellte. Nunmehr wurde jeder einzelne Holzblockbogen durch einen senkrechten (oder bei zu befürchtendem Seitendruck durch einen schräggestellten) 30 cm starken Stempel unterfangen. Diese Schlitze sowohl, wie die Seiten des Tunnels standen in der Regel ohne alle Verpfählung. Die Entfernung der Strosse konnte hier nach leicht bewirkt werden.

Auf diese Weise war also der Vollaussbruch des Tunnels nach belgischer Bauweise hergestellt und ausgezimmert. In diesem Raume erfolgte die Ausführung des endgiltigen Gewölbes ohne alle Schwierigkeiten, weil eine Beseitigung der Holzträger und der Verpfählung bei dem geringen Holzwerte in dortiger Gegend unterblieb. Der Raum zwischen der Verpfählung und dem Gewölbe wurde theils mit Mörtel ausgemauert, theils sorgfältig hinterpackt.

Die vorbeschriebene Auszimmerung hielt sich im allgemeinen gut, so lange nur senkrechter Druck zu überwinden war, bei seitlichem Druck wurden die Holzblockbögen durch Einbau der Bogenversteifung *ee* verstärkt, die erst beim Schliesen des endgiltigen Gewölbes entfernt werden konnte.

Es mag hier bemerkt werden, dafs diese Anwendung des Holzgewölbes in Thonboden eine Ausnahme bildet, in der Regel kommt es nur in festeren Gebirgsarten zur Ausführung, während bei weichem Gebirge andere Zimmerung üblich ist. Da aber Tunnel in weichem Gebirge verhältnismäfsig selten sind, so findet das Holzgewölbe in Amerika immerhin so ausgedehnte Anwendung, dafs man dasselbe als „amerikanische Bauweise“ bezeichnet. Man kann indessen dieses Zimmerungssystem nicht allgemein als eine Unterabteilung der belgischen Bauweise hinstellen, da es auch vielfach bei anderen in Amerika üblichen Bauweisen vorkommt, es ist nur deshalb an dieser Stelle eingereicht worden, weil gerade bei dem beschriebenen Beispiel des Church-Hill-Tunnels der Bauvorgang nach belgischer Art erfolgte.

Bemerkenswert ist, dafs bei vielen eingleisigen Tunneln diese Auszimmerung mit Holzgewölben als endgiltige Verkleidung der Tunnelwände ausgeführt wird, ohne dafs ein späterer Ersatz durch Mauerwerk beabsichtigt ist. Zeigt sich eine Auswechslung als notwendig, so wird sie wieder in Holz bewirkt. Zum Schutze gegen Feuersgefahr werden in solchen Fällen die Tunnelwände in vielen Fällen mit einer Zinkverkleidung versehen.

Diese Bauart findet ihre naturgemäße Anwendung nur in jenen entlegenen Gegenden, wo Eisenbahnen von vielen hundert Meilen Länge, wie die Pacific-Bahnen, gebaut werden müssen, ohne Weg und Steg, durch unerforschte Wildnisse, bei denen jede Möglichkeit der Herbeischaffung anderweiter Baumaterialien gänzlich abgeschnitten ist. In Deutschland jedoch und auch wohl in ganz Europa verbietet sie sich von selbst, weil Mauermaterialien meistens leichter zu beschaffen und die Holzpreise bedeutend höher, auch die ganzen volkswirtschaftlichen und geographischen Bedingungen, unter denen der Bau von Eisenbahnen erfolgt, wesentlich andere sind.

### c) Die österreichische Tunnel-Bauweise.

Von den beiden vorstehend besprochenen Bauweisen unterscheidet sich die österreichische hauptsächlich dadurch, daß die Mauerung einer Tunnelstrecke erst dann ausgeführt wird, wenn in ihr das ganze Tunnelprofil voll abgebaut ist. Dabei werden die zur Herstellung des Vollausbruches erforderlichen Arbeiten nicht wie bei der englischen Bauweise auf eine Zone beschränkt, sondern auf mehrere unmittelbar aufeinander folgende Zonen ausgedehnt, von denen jede für sich so ausgebaut wird, daß sie von der Zimmerung oder Mauerung der benachbarten Zone unabhängig ist. Der Abbau des vollen Profils beginnt entweder in der Firste oder auf der Sohle. Im ersten Falle wird außer dem meist schon als Richtstollen vorhandenen Sohlenstollen zunächst, ähnlich wie bei der belgischen Bauweise, auch noch ein Firststollen hergestellt, diesem folgt der Abbau des oberen Drittels des Profils, dann die Entfernung des mittleren Profilteiles und schliesslich die Beseitigung der Massen im unteren Teile bis zur Sohle. Alle diese einzelnen Arbeiten werden in der Regel in verschiedenen Zonen hintereinander gleichzeitig betrieben. Es entsteht dadurch ein treppenartiger Bauvorgang, der nach den entstehenden Stufen (bergm. „Strossen“) der „Strossenbau“ genannt wird. Er gestattet die Verwendung vieler Arbeitskräfte und bietet damit die Möglichkeit eines raschen Baubetriebes. — Im zweiten Falle beginnt der Vollausbruch mit Erweiterung des Sohlenstollens, um zunächst die unteren Hauptstützen der Zimmerung (den unteren Bock, vergl. § 61) einbauen zu können. Hierauf folgt von einem Firststollen aus, der auch hier außer dem Sohlenstollen vorzutreiben ist, die Herstellung eines Schlitzes bis auf den Sohlenstollen und schliesslich der Abbau des ganzen Profils von oben nach unten. Wie in dem erstangeführten Falle werden auch hier die verschiedenen Abbauarbeiten gleichzeitig in verschiedenen Zonen hintereinander betrieben. Nach bergmännischem Sprachgebrauche nennt man diesen Bauvorgang, bei dem also durch das Voreilen eines unteren Profilteiles — und zwar in diesem Falle der Erweiterung des Sohlenstollens — eine Firste in der Mitte des Profils gebildet wird, deren Abbau später nachfolgt: „Firstenbau“. Sobald der Vollausbruch in einer Zone vollendet ist, wird darin sofort die Mauerung und zwar mit Herstellung der Widerlager begonnen, auch wenn das Gewölbe in der vorhergehenden Zone noch nicht vollendet ist. Bei geschickter Arbeitsverteilung findet in allen Zonen ein gleichmäßiger Fortschritt statt; die Mauerung kann daher den Abbauarbeiten unmittelbar und stetig folgen.

Die Länge der einzelnen Zonen wechselt je nach den Druckverhältnissen etwa zwischen 1,5 und 9 m, ebenso ist auch die Anzahl der aufeinanderfolgenden, gleichzeitig in Angriff genommenen Zonen von der Beschaffenheit des Gebirges abhängig; sie schwankt zwischen 2 und 5, sodafs also die ganze Längenausdehnung einer Baustelle von 3 m in schwimmendem Gebirge bis etwa 45 m in festem Gebirge betragen kann.

Es mag indessen gleich hier bemerkt werden, daß eine so erhebliche Länge wie 45 m für eine Arbeitsstelle nur ausnahmsweise bei sehr günstigen Verhältnissen in Angriff genommen werden darf und daß im allgemeinen vor zu großer Ausdehnung der Arbeitsstellen nicht genug gewarnt werden kann, weil gerade darin die Hauptursache der meisten Tunnelbrüche zu suchen ist.

Bei den vorbeschriebenen Bauvorgängen ist das etwa erforderliche Sohlengewölbe in der Regel nach der Vollendung des Hauptgewölbes einzubauen. Nur ausnahmsweise wird wohl zuerst das Sohlengewölbe hergestellt und zwar kann dies dann zweckmäßig werden, wenn es bei besonders stark drückendem, milden oder schwimmenden Gebirge darauf ankommt, durch eine feste Sohle das Einsinken der Zimmerung bzw. das Zusammengehen der Widerlager zu verhindern. In solchen Fällen erleidet der Bauvorgang selbstverständlich entsprechende Änderung, wofür in der folgenden Beschreibung der einzelnen Zimmerungsarten Beispiele gegeben sind. In den meisten Fällen wird bei der Anwendung der österreichischen Bauweise ein Sohlenstollen vorgetrieben, um von diesem aus den Bau mittels Aufbrüchen an mehreren Stellen gleichzeitig betreiben zu können. Dabei geschieht die Herstellung der Aufbrüche (d. h. der ersten Zone) auch hier in der Weise, wie es weiterhin bei Besprechung der englischen Bauweise unter § 77 näher angegeben ist.

Bei der österreichischen Bauweise bietet die Abstützung des durch Abbau des vollen Profils gebildeten großen Raumes Gelegenheit zur Anwendung vieler verschiedenartiger Zimmerungen. Sie lassen sich im wesentlichen unter dreierlei Arten zusammenfassen. Diese sind:

1. Die österreichische Zimmerungsart, eine Sparrenzimmerung (vergl. § 61);
2. das sogenannte Centralstreben-system, eine Joehzimmerung, wobei die Joche in ähnlicher Weise wie die Sparrenzimmer der vorstehenden Zimmerung mit Bockgespärren abgestützt werden;
3. die Eisenrüstung nach dem System Rziha.

Im Folgenden sollen diese verschiedenen Zimmerungsarten und der Bauvorgang bei ihnen an einzelnen Beispielen näher erörtert werden.

**§ 74. Die österreichische Zimmerungsart** (Fig. 21 bis 40, Taf. V). Das Wesen dieser Zimmerungsart besteht in der Anordnung einer Sparrenzimmerung, wie solche in § 61 speziell beschrieben wurde. Unter Bezugnahme hierauf sei kurz hervorgehoben, daß bei diesem Systeme mehrere Sparrenzimmer durch Unterzüge von der Länge einer Zone zu einem Ganzen vereinigt und diese Unterzüge durch die sogenannten „Bockgespärre“ auf die Sohle des Tunnels abgestützt werden. Diese Bockgespärre erhalten durch die Schwellenunterzüge über den unteren Bocksäulen, sowie durch zahlreiche Sprengbolzen den erforderlichen Längenverband.

Die Entfernung der Sparrenzimmer voneinander richtet sich nach der zulässigen Länge der Pfähle und wechselt zwischen 0,90 und 1,50 m, während die Entfernung der Bockgespärre, deren Lage von denjenigen der Sparrenzimmer infolge der Unterzüge unabhängig ist, von 0,90 bis 2 m und mehr betragen kann, je nach den Druckverhältnissen des Gebirges. An den Enden der Zonen pflegt man die Gespärre näher aneinander zu stellen als in der Mitte, weil der Zusammenhang der Unterzüge dort unterbrochen ist. Zur Verzimmerung der Seitenstöße des Tunnels wendet man meistens statt der Sparrenhölzer Joche (hier Wandruten genannt) an, die gegen die unteren Bocksäulen abgespreizt werden (vergl. § 61).

Die Brust der einzelnen Abbaustufen wird erforderlichenfalls mit einem Verzuge versehen, den man gegen die entsprechenden Teile der Gespärre abspreizt. Der Druck, der dadurch auf die Gespärre selbst ausgeübt wird, ist durch Anbringung einer genügenden Anzahl von Schubstreben gegen die Hauptschwellen der Gespärre unschädlich zu machen.

Bei Ausführung der Mauerung werden die einzelnen Zimmerungshölzer nach und nach gegen andere Hölzer ausgewechselt. Dabei ist wie bei allen Auswechslungen stets darauf zu achten, daß das einzelne Holz nicht eher beseitigt wird, als bis es durch ein Auswechselholz entlastet ist. Wenn irgend möglich, muß alles Holz beseitigt und durch Mauerwerk ersetzt werden.

Die Lehrbögen für die Ausführung des Gewölbes werden zwischen den einzelnen Bockgespärren auf den Unterzügen unter den Hauptschwellen aufgestellt und außerdem noch durch besondere Stempel und Gerüste in der Mitte und an den Widerlagern gestützt. Infolge der Auswechslung der Zimmerungshölzer bei fortschreitender Mauerung haben die Lehrbögen nach und nach den vollen Druck des Gebirges und die Last des Gewölbemauerwerks zu tragen und müssen deshalb so stark gebaut sein, daß sie diesem Widerstand leisten können.

1. **Homberger Tunnel** (Fig. 30 bis 36, Taf. V). Als Beispiel für die Anwendung der österreichischen Zimmerung beim Strossenbau diene der Bau des 330 m langen, eingleisigen Homberger Tunnels<sup>63)</sup> in der Linie Klagenfurth-Marburg in Steiermark. Er durchbricht ein sehr drückendes Gebirge, bestehend aus Letten, Lehm, feinem Sand und blauem Thonschiefer. Die Ausführung des Tunnels geschah lediglich von den beiden Mundlöchern aus und bildet einen der seltenen Fälle, in denen ein Richtstollen nicht vorgetrieben wurde. Den Bauvorgang und die Konstruktion der Zimmerung zeigen Fig. 30 bis 36, Taf. V. Der Einbruch geschah mittels eines Firststollens von 3,16 m Breite und gleicher Höhe, einschließlic des Raumes für die Zimmerung. Hierbei wurden die Kappen *a* (Fig. 30) in einer Entfernung von 0,95 m voneinander eingebaut und vorübergehend durch die Stempel *b* auf die Sohlenschwelle *c* gestützt, welche letztere durch eine Bohlenunterlage am Einsinken in das weiche Gebirge verhindert wurde. Zur Sicherung der Seitenstöße genügte ein einfacher Verzug, während die Firste mit Verpfählung versehen werden mußte. In dem Firststollen brachte man sodann die Unterzüge *d* ein und stützte sie vorübergehend mit den Stempeln *e* gegen die Schwelle *c* ab. Es folgte darauf die Ausweitung des oberen Profils durch den Einbau der Sparren *f*. Diese Sparren wurden vorläufig durch die Streben *g* gegen die Schwelle *c* gestützt. Sobald diese Erbreiterung auf eine Länge von rund 3,80 m — der Länge der einzelnen Zonen — fertig war, erfolgte der Einbau der Unterzüge *h*. Nunmehr schritt man zum Senken der Sohle bis auf die Höhe der Hauptschwelle *l*, um den oberen Teil des endgiltigen Gespärres einbauen zu können (Fig. 32). Letztere wurden in Entfernungen von 1,26 m aufgestellt, während die Sparrenzimmer nur 0,95 m voneinander entfernt waren; mithin traf nur jedes vierte Gespärre mit der Ebene eines Sparrenzimmers zusammen. Zum Einbau der Hauptschwelle *l* beseitigte man nunmehr vorweg die Unterstützung des nächst gelegenen Sparrenzimmers auf der Sohle des Firststollens, sodafs also die Kappenunterzüge sich auf eine Länge von etwa 1,90 m frei trugen. War dies an einzelnen Stellen des Druckes wegen nicht zulässig, so mußten die Unterzüge durch schräg gestellte Streben auf die nächst gelegenen Sohlenschwellen des Stollens abgestützt

<sup>63)</sup> Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1873.

werden. Sodann wurde die Firststollensohle bis zur Schwellenhöhe in der Breite der Schwelle und in der Länge von 1,26 m senkrecht abgebaut, vergl. Fig. 36. Auf dieser so geschaffenen zweiten Sohle wurden die 1 m langen Unterlagen *i* derartig verlegt, daß zwischen ihnen die Unterzüge *k* Platz finden konnten. Es folgte die Verlegung der Schwelle *l*, die Aufstellung der oberen Böcksäulen *m*, die endgiltige Unterstüztung der oberen Sparrenwandruten *f* und der weitere Abbau des Profils mit Hilfe des Einbauens der Sparrenfüße *g*. Hieran schloß sich der Einbau der unteren Sparrenwandruten *r* und deren Abspreizung *s* auf die Schwelle *l*.

Nach Fertigstellung dieser Auszimmerung auf die Länge einer Zone von 3,80 m wurden die ebenso langen Unterzüge *k* eingebracht und der untere Profilteil von der Höhe der Schwelle bis zur Auflagerfläche des Sohlengewölbes in einer Längenausdehnung — gleich der Entfernung der Gespärre — von 1,26 m senkrecht abgebaut, um den Einbau des unteren Bockes zur Unterstüztung der Schwelle *l* zu ermöglichen. Den Verzug der Brust spreizte man gegen die rückwärts stehenden unteren Böcksäulen ab, während der Verzug der Seitenstöße sich auf das Mauerwerk und den Brustverzug stützte, vergl. Grundriffszeichnung Fig. 33 und Längenschnitt Fig. 36. In dem so gewonnenen Raume von 1,26 m Länge führte man zunächst auf einer 5 cm starken Bohlenunterlage das aus Quadern bestehende Sohlengewölbe aus, das nun der Sohlenschwelle *u* und damit den unteren Böcksäulen *t* eine sichere Unterstüztung bot. Auf diese Böcksäulen wurde sodann noch der Verzug der Seitenstöße endgiltig abgesteift. Sobald das Unterfangen des Unterzuges *k* durch die drei unteren Böcke auf die Länge von 3,80 m in dieser Weise bewirkt war, begann man mit dem schichtenweisen Versetzen der Widerlagsquader bis zur Kämpferhöhe und verspreizte das Mauerwerk mit Hilfe der „Schablonenhölzer“ *b'* (auch „Zirkelhölzer“ genannt) und der Bolzen *c'* gegen die unteren Böcksäulen. Die Aufstellung der Lehrbögen zeigen Fig. 35 u. 36, aus denen auch der Vorgang beim Versetzen der 80 bis 100 cm starken Gewölbequader zu erkennen ist. Zur Erleichterung der vorübergehenden Abstützung der Sparren auf die Lehrbögen dienten die Langhölzer *a'*. Die Beseitigung der Sparrenzimmer war bei starken Druckverhältnissen nicht überall zu erreichen.

Die Länge einer Arbeitsstelle erstreckte sich auf vier Zonen von je 3,80 m Länge (also zusammen auf 15,2 m, wobei die Länge des voreilenden Firststollens nicht mitgerechnet ist), in der ersten wurde die Erbreiterung des Firststollens vorgenommen, während in der zweiten der Einbau des oberen Bockes, in der dritten die Herstellung des Sohlengewölbes, sowie der Einbau des unteren Bockes und schließlich in der vierten die Vollendung der Mauerung erfolgte.

Bei dem beschriebenen Bauvorgange trat regelmäztig ein erhebliches Setzen der Zimmerung ein, sodast die Firstkappen mit einer Überhöhung von 0,5 m eingebaut werden mußten. Beim Beginn des Baues, als ohne vorherige Ausführung des Sohlengewölbes die unteren Böcksäulen unmittelbar auf den schlechten Baugrund gesetzt wurden, war das Niedergehen der Zimmerung noch weit beträchtlicher. Die Ursache dieser Erscheinung liegt, abgesehen von der Nachgiebigkeit des Untergrundes, in dem mehrfachen Unterfangen der Zimmerung, das durch den stückweise von oben nach unten fortschreitenden Einbau derselben notwendig war. Dies Unterfangen ist aber namentlich in druckhaftem Gebirge stets mit einem Niedergehen der Zimmerung verbunden, was wiederum ein Auflockern der Gebirgsmassen und damit eine Vermehrung des Druckes zur Folge hat.

**2. Czernitzer Tunnel.** Um jenem Übelstande zu begegnen, verließ Rziha schon in den fünfziger Jahren bei Ausführung eines Teiles des 500 m langen, im Schwimmsande herzustellenden Tunnels bei Czernitz in Schlesien den Strossenbau und ging zum Firstenbau über, indem er den Profileinbruch aus der Firste in die Sohle verlegte.<sup>64)</sup> Er gewann damit die Möglichkeit, den Einbau der Gespärre mit dem Aufrichten des unteren Bockes zu beginnen, wodurch die nachteiligen Unterfangungsarbeiten vermieden wurden. Der Bauvorgang und die Zimmerung der bezüglichen Strecke des Czernitzer Tunnels ist in Fig. 21 bis 28, Taf. V dargestellt. Die Vollausbruchsarbeiten begannen mit der Erweiterung des 2 m weiten und 2 m hohen Sohlen- und Richtstollens (Fig. 21). Die Thürstöcke dieses erweiterten Stollens bildeten den unteren Bock des Gespärres. Zunächst wurden die Kappen *a* (die Hauptschwellen des Bockgespärres), die Sohlenschwellen *c* und die Hauptbocksäulen *b* eingebaut. Nachdem drei oder vier dieser unteren Böcke standen, zog man die Unterzüge *d* ein, die mit den Stempeln *e* auf der Sohlschwelle abgestützt wurden. — Es liegt die Frage nahe, weshalb man nicht anstatt des voreilenden kleinen Sohlenstollens gleich den erweiterten Stollen ausführte. Die Gründe hierfür sind einmal, daß die Ausführung eines so großen Stollenprofils in einem solchen äußerst druckreichen Gebirge schwierig ist; zweitens, daß der Richtstollen stets längere Zeit in Zimmerung stehen muß, was bei dem weiten Profil und dem hohen Gebirgsdruck mit zu großer Gefahr verknüpft wäre, drittens aber und namentlich, daß der für den Richtstollen sehr wichtige rasche Stollenfortschritt auf diese Weise nicht zu erzielen sein würde.

In der Entfernung einer Zonenlänge (die Länge der einzelnen Zonen wechselte zwischen 2 m und 6 m) folgte dem erweiterten Sohlenstollen die Herstellung eines Firstenschlitzes, des sogenannten „hohen Stollens“ (Fig. 22). Zu dem Zwecke trieb man einen Firststollen mit einer Thürstockzimmerung vor, deren Kappen, die gleichzeitig die endgiltigen Kappen des Vollausbruches waren, durch Stempel vorübergehend auf der Sohle des Firststollens so abgestützt wurden, daß neben diesen Hilfshölzern noch Platz für die Kappenunterzüge *h* blieb. Sobald drei bis vier solcher Thürstöcke gestellt waren, wurden diese Unterzüge eingebaut und nach Entfernung des Gebirges zwischen First- und Sohlenstollen durch die oberen endgiltigen Bocksäulen *g* auf den unteren Bock abgestützt (Fig. 22). Bei diesen Arbeiten mußte stets für sorgfältigen Verzug aller senkrechten freien Flächen des Gebirges, sowohl an der Brust wie an den Seiten des hohen Stollens gesorgt und derselbe vorübergehend gegen das Gespärre verspreizt werden.

Der weitere Abbau des Profils ist nicht wesentlich von demjenigen für den Homberger Tunnel verschieden; er erhellt aus den Figuren 23 und 24. Die Zimmerung war bei dem starken Gebirgsdruck und dem für diesen zweigleisigen Tunnel größeren aufgeschlossenen Raume erheblich stärker, als bei dem eingleisigen Homberger Tunnel. Insbesondere sind die Bockgespärre jedesmal unmittelbar unter die Sparrenzimmer gestellt worden, sodafs also auf jedes Sparrenzimmer ein Bockgespärre kam, ferner wurde die Kappe durch einen mittleren Unterzug nochmals gestützt, sodann wurden Ixenwandruten (vergl. „Ixenkinkel“, § 61, S. 162) angebracht, auch war die aus drei Teilen zusammengesetzte Hauptschwelle bis an die Stöße des Tunnels durchgeführt und doppelte untere Bocksäulen waren gestellt.

<sup>64)</sup> Bei einem anderen Teile dieses Tunnels war die deutsche Bauweise zur Anwendung gekommen (§ 70), in dieser Strecke wurden durch außerordentliche Verdrückungen und Zerstörungen der Zimmerung sowohl als des fertigen Mauerwerks solche ungewöhnliche Schwierigkeiten verursacht, daß dadurch das Bauwerk zu einer gewissen Berühmtheit gelangte. Näheres hierüber wird die IV. Abteilung dieses Abschnittes bringen.

Den Vorgang bei der Mauerung und das dabei auszuführende Auswechseln der Zimmerung zeigen die Fig. 25 u. 26. Das Sohlengewölbe wurde erst nach Schlufs des Hauptgewölbes eingespannt.

**3. Mülhausener Tunnel.** Ein Beispiel für eine leichtere Ausführung der österreichischen Zimmerungsart in festerem Gebirge bei Anwendung des Firstenbaues bietet der Tunnel bei Mülhausen auf der Prag-Bodenbacher Bahn, dessen Auszimmerung aus Fig. 29, Taf. V ersichtlich ist. Dabei sind der mittlere Kappenunterzug, die Ixenwandruten, die zweiten unteren Bocksäulen und die ganze Verpfählung der Strosse in Wegfall gekommen.

**4. Kaiser Wilhelm-Tunnel** (Fig. 37 bis 40, Taf. V). Beim Bau des Mettericher Tunnels der Eifelbahn (1869 bis 1870) und des Kaiser Wilhelm-Tunnels in der Moselbahn bei Cochem (1874 bis 1877), beide von Lengeling erbaut, kam eine Abänderung der im Vorstehenden beschriebenen österreichischen Zimmerungsart zur Anwendung, die den am Homberger Tunnel erläuterten Strassenbau (also den stückweise von oben nach unten fortschreitenden Einbau der Zimmerung, bei dem der untere Bock zuletzt gestellt wird) ermöglichte, ohne das mehrmalige Unterfangen der oberen Zimmerung, womit der Nachteil des Setzens derselben verbunden ist, nötig zu machen. Es geschah dies mit Hilfe einer vorübergehenden Abstützung der Sparrenzimmerung auf feste Hilfsträger, unter denen der Abbau des unteren Profilverteiles vorgenommen werden konnte. Eine weitere bemerkenswerte Eigentümlichkeit dieser Zimmerung bestand in der ersten Verwendung eiserner Sparrenzimmer (aus I-Eisen von 19 cm Höhe, die an den Stößen durch Laschen miteinander verbunden waren), ferner in der Anwendung von Hilfsträgern bei der Ausführung des Sohlengewölbes.

Wir beschränken uns für die nähere Darstellung auf eine kurze Beschreibung der Zimmerung und des Bauvorganges beim Kaiser Wilhelm-Tunnel, die in Fig. 37 bis 40, Taf. V dargestellt sind. Der Kaiser Wilhelm-Tunnel durchbricht in einer Länge von 4200 m ein aus Grauwackenschiefer bestehendes Gebirge. Zur Beschleunigung des Baues wurde mittels Maschinenbetrieb (§ 37, S. 111) ein Sohlenstollen vorgetrieben, von dem aus in verschiedenen Aufbrüchen der Vollaussbruch und die Mauerung vorgenommen wurde. Den Einbruch in das volle Profil bildete ein 1,8 m breiter und 2,85 m hoher Firststollen. In diesen baute man die eisernen Kappen der Sparrenzimmer ein und stützte sie mit Hilfe der Kappenunterzüge vorübergehend auf ein in der Mitte der Stollensohle gelegenes Langholz *a* (Fig. 37) ab. Hierauf erfolgte der Abbau des übrigen oberen Profilverteiles bis auf die Sohle des Firststollens bei gleichzeitigem Einbau der entsprechenden eisernen Sparren mit Hilfe einer vorläufigen Abstützung derselben auf die entstandene Sohle (Fig. 37 rechts). War diese Arbeit auf 5 m Länge (der Länge einer Zone) vollendet, so verlegte man auf der Sohle des Firststollens 8 m lange, aus je zwei I-Eisen von 29 cm Höhe zusammengesetzte Hilfsträger *b* (Fig. 38), die bis in den Vollaussbruch hineinragten und dort auf den unteren Bock des Gespärres mittels kurzer aufgesetzter Stempel *p* gelagert wurden. Auf diese Hilfsträger stützte man sämtliche Unterzüge der Sparrenzimmer mittels Streben ab (Fig. 38 links). Nunmehr konnte man unter dem Schutze der Hilfsträger das Gebirge bis zum Sohlenstollen beseitigen, um die unteren Böcke der Gespärre aufzustellen, deren in der Regel drei auf jede Zone kamen und deren Abstand voneinander daher rund 2 m betrug. Auf diesen Böcken erfolgte die endgiltige Abstützung der Sparrenunterzüge (Fig. 38 rechts); darauf kamen die frei gewordenen Hilfsträger in der nächsten Zone zur Verwendung.

Um bei Ausführung des Sohlengewölbes die Fördergleise nicht unterbrechen zu müssen, wurden nach Schlufs des oberen Gewölbes neben den unteren Bocksäulen 8 m lange Grundswellen von gleicher Konstruktion wie die oben erwähnten Hilfsträger verlegt und auf diese die Hauptswellen abgestützt (Fig. 39 u. 40). Nötigenfalls konnte man die Widerlager noch gegen diese neuen unteren Bocksäulen und gegen die Grundsohlen verspreizen, sodafs also das Mauerwerk gegen irgend welche Verdrückungen genügend geschützt war. Alsdann wurden die unteren Bocksäulen der ursprünglichen Zimmerung beseitigt und das Fördergleis an den Grundswellen aufgehängt (Fig. 40); nunmehr konnte der Aushub für das Sohlengewölbe und dessen Ausführung erfolgen, die in Längen von 2,5 m vorgenommen wurde. Dies Verfahren beim Einbau des Sohlengewölbes hat sich auch bei mildem Gebirge aufs beste bewährt.

**§ 75. Die Centralstrebenzimmerung** (Fig. 9 bis 23, Taf. VI). Die Centralstrebenzimmerung unterscheidet sich von der österreichischen Zimmerungsart, aus der sie sich entwickelt hat, wesentlich durch die Anwendung von Jochen an Stelle der Sparrenzimmer. Diese Joche werden ebenso wie die Unterzüge der österreichischen Sparrenzimmerung durch Bockgespärre unterstützt. Letztere sind in der Regel in der Weise gebaut, dafs über den unteren Bocksäulen eine Haupt- oder Mittelschwelle angebracht ist, worauf sämtliche oberen Joche (Kronenbalken) mit Streben abgestützt werden (Fig. 11). Diese Streben sind in zwei Gruppen angeordnet, indem deren Fufsenden zur Hälfte oberhalb der rechten, zur Hälfte oberhalb der linken Bocksäule je in einem Punkte zusammenlaufen; sie führen die Bezeichnung „Centralstreben“ und nach ihnen ist das System benannt. Es kommen indessen auch anderweitige Konstruktionen des Bockgespärres bei diesem System zur Anwendung, wie aus einzelnen der hierunter aufgeführten Beispiele hervorgeht.

**1. Schwelmer Tunnel.** Als bezeichnendes Beispiel für die Anwendung des Centralstreben-systems mag der Bau des 740 m langen Schwelmer Tunnels im Zuge der Rheinischen Eisenbahn von Düsseldorf nach Hörde (1876 bis 1878) angeführt werden. Er liegt teils in festem Kalkstein, teils in faulem Grauwackenschiefer und Lehm, sodafs die Druckverhältnisse aufserordentlich verschieden waren. Fig. 9 bis 12, 14 u. 15, Taf. VI zeigen die Zimmerung und den Bauvorgang in einer Gebirgspartie von mittleren Druckverhältnissen, während Fig. 13 eine Zimmerung zeigt, die in festerem Gebirge angewandt wurde.

Dem voreilenden Sohlenstollen von 2,50 m Höhe und 2,80 m Breite folgte ein Firststollen von 2,0 m Höhe und 1,5 m Breite, in dem die beiden oberen Joche *a* (Fig. 9) eingebaut und vorübergehend auf seiner Sohle abgestützt wurden. Die Länge der Joche und damit die Zonen wechselten je nach den Druckverhältnissen des Gebirges zwischen 3 und 8 m. Es folgte in Zonenlänge die Erweiterung des Firststollens über die ganze Breite des oberen Profils bei gleichzeitigem Einbau der betreffenden Joche mit Hilfe vorübergehender Abstempelung (Fig. 10). Für den nunmehr auszuführenden Einbau der Bockgespärre geschah alsdann der weitere Abbau des Profils nach unten bis zur Höhe des Auflagers der Hauptschwelle nach und nach in der jedesmaligen Länge gleich der Entfernung zweier Bockgespärre voneinander, d. i. 1 bis 2 m, sowie weiterhin in gleicher Länge die Entfernung des Gebirges bis zur First des Sohlenstollens und die zur Gewinnung des Raumes für den unteren Bock erforderliche seitliche Erweiterung des letzteren. Schliesslich wurde der untere Bock aufgestellt und die Centralstreben zur endgiltigen Abstützung der Joche auf jenen aufgesetzt. Ein Brustverzug war hierbei selten erforderlich, doch mußten während dieser Arbeit die Joche

der Firstverzimmerung auf Längen von etwa 2 m sich frei tragen. Wenn dies des Druckes wegen zu gefährlich war, so wurden die Hilfsträger *bb* (Fig. 11 u. 15) ebenso wie beim Cochemer Tunnel eingebaut und die Joche vorübergehend darauf abgestützt. In der Querschnittszeichnung der Zimmerung ist diese Abstützung punktiert, im Längenschnitt ausgezogen dargestellt.

Den weiteren Abbau des vollen Profils, sowie den Vorgang bei der Mauerung zeigen Fig. 12, 14 u. 15. Die Lehrbögen bestanden aus alten, gebogenen Hartwich-Schienen<sup>65)</sup>, die beim Vorschreiten der Wölbung noch einer Unterstützung durch den Holzbau *fghi* (Fig. 14) bedurften.

In drückendem Gebirge wurden höchstens zwei aufeinanderfolgende Zonen von je 4 m Länge in Angriff genommen, während in den festen Gebirgstrecken bis zu vier Zonen von je 8 m Länge gleichzeitig im Bau waren. Dabei wurde in der ersten Zone die Erweiterung des Firststollens, in der zweiten von der Firststollensohle abwärts der Ausbruch zur Aufstellung des Bockgespärres, in der dritten die Fertigstellung des Vollausbruches und in der vierten die Mauerung betrieben. Die Förderung geschah durch den Sohlenstollen; die in den oberen Profiltteilen gelösten Massen wurden durch Rolllöcher (Fig. 10 u. 15) unmittelbar in die untenstehenden Wagen gestürzt.

**2. Hagenacker Tunnel.** Ein weiteres Beispiel für die Zimmerung nach dem Centralstreben-system mit einer anderen Bauart der Bockgespärre bietet der Bau des 620 m langen Tunnels bei Hagenacker<sup>66)</sup> auf der Altmühlbahn in Bayern, ausgeführt in den Jahren 1867 und 1868 (vergl. Fig. 16 bis 20, Taf. VI). Das durchbrochene Gebirge bestand aus der Juraformation angehörigem, teilweise geschichtetem klüftigen, teilweise massigem Schwemmkalkstein, und zeigte namentlich in ersteren Teilen einen ziemlich erheblichen Firstendruck, jedoch keinen Druck von der Seite.

Es wurde ein Sohlenstollen (3 m hoch, 2,6 m breit) und ein Firststollen (2,4 m hoch, 2,1 m breit) vorgetrieben und von zahlreichen Aufbrüchen aus der weitere Abbau in Zonenlängen von 5 bis 12 m (in der Regel von 9 m) in Angriff genommen, indem ähnlich wie beim Schwelmer Tunnel, zunächst die seitliche Erweiterung des Firststollens und der Einbau der oberen Joche erfolgte. Letztere wurden an beiden Enden vorübergehend durch die Stempel *s* gestützt und durch die Schubstreben *t* gegen eine Längenschiebung gesichert; auch erhielten sie in der Mitte noch eine vorläufige Stütze. Sodann geschah der weitere Abbau in der ganzen Profillbreite nach unten, bis die Schwellen *u* der beiden Endespärre eingebaut und die endgiltige Abstützung der Joche auf diese erfolgen konnte. Nach Fertigstellung des vollen Profils bis zur Sohle wurden die Joche in der Mitte mit einem Gespärre ohne mittlere Hauptschwelle mit bis zur Sohle reichenden Stempeln abgestützt (Fig. 20).

**3. Christina-Tunnel** (Fig. 21 bis 23, Taf. VI). Unter außerordentlich schwierigen Druckverhältnissen kam eine Centralstrebenzimmerung bei vorhergehender Ausführung des Sohlengewölbes und der Widerlager bei dem Bau des 1430 m langen eingleisigen Christina-Tunnels<sup>67)</sup> der Bahn Foggia-Neapel in den Jahren 1867 bis 1871 zur Anwendung. Das Gebirge bestand aus nassem Thon, der sich bei Zutritt der Luft blähte

<sup>65)</sup> Diese 23 cm hohen Schienen stammen von dem auf der Rheinischen Eisenbahn früher durch Hartwich eingeführten eisernen Oberbau ohne Querschwellen und eignen sich ihrer großen Tragfähigkeit wegen sehr gut zu anderweiter Verwendung bei verschiedenen Baukonstruktionen.

<sup>66)</sup> Zeitschr. d. bayer. Arch.- u. Ing.-Ver. 1869.

<sup>67)</sup> Lanino. Galerie della Traversata dell' Appennino nella Linea Foggia-Napoli (Rom 1875).

und sehr starken Druck ausübte. Man versuchte zuerst die belgische Bauweise und später die österreichische mit gewöhnlicher Zimmerung. Nachdem sich beide als ungenügend erwiesen hatten, da in beiden Fällen die Zimmerung vollständig zerdrückt wurde, ging man zu dem folgenden vom Ingenieur Proteche vorgeschlagenen Verfahren über. Es wurde zunächst der untere Teil des Profils abgebaut und das Sohlengewölbe mit den Widerlagern hergestellt. Alsdann wurde der Raum zwischen den Widerlagern (Fig. 21) mit Steinen ausgepackt und ein Platz für einen kleinen Sohlenstollen zum Verkehr frei gelassen. Auf dem so geschaffenen festen Unterbau nahm man den Abbau des oberen Profils und die Auszimmerung nach dem Centralstrebensystem vor und führte das Gewölbe aus. Da bei der Eigenschaft des Gebirges, sich bei Zutritt der Luft zu blähen, alles darauf ankam, die einzelnen Räume so rasch wie möglich herzustellen und das Mauerwerk darin auszuführen, so mußten die Zonen auf sehr kurze Längen beschränkt werden; man ging daher bis zu 1,5 m Zonenlänge herunter. Als trotzdem noch an einigen Stellen die Zimmerung verdrückt wurde und der Unterbau sich nicht als genügend erwies, entschloß man sich dazu, bei Ausführung des unteren Teiles des Tunnels zwischen den Widerlagern ein vorläufiges Gewölbe von 0,80 m bis 1,20 m Scheitelstärke auszuführen (Fig. 23) und gestützt auf diesen Mauerklotz den oberen Teil des Profils herzustellen. Nach Schluß des Gewölbes wurde dann der vorläufige Bogen wieder beseitigt.

#### § 76. Die Eisenrüstung nach dem System Rziha (Fig. 1 bis 8, Taf. VI).

Bei dem Rziha'schen System besteht die ganze Ausrüstung des Tunnels bis auf die Pfähle aus Eisen. Das Eisen hat vor dem Holze manche Vorzüge, die es für den Tunnelausbau wohl geeignet machen. Dahin gehört namentlich seine bedeutende Festigkeit, welche die Anwendung erheblich kleinerer Abmessungen und somit die Bildung eines größeren freien Arbeitsraumes als beim Holzausbau gestattet, ferner seine größere Dauerhaftigkeit, die eine beliebig oftmalige Wiederverwendung der Konstruktionsteile ermöglicht.

Der Rziha'schen Konstruktion liegen zwei Hauptideen zu Grunde, die einerseits eine Vereinfachung des Tunnelausbaues, andererseits eine Vereinfachung des Arbeitsvorganges bezwecken.

Bei sämtlichen Holzbausystemen ist aufser der Zimmerung zur Abstützung des Gebirges im vollen Tunnelprofile noch eine zweite Zimmerung und zwar diejenige des Lehrgerüsts zur Ausführung des Gewölbes notwendig, die bei fortschreitender Mauerung an Stelle der ersteren nach und nach den gesamten Gebirgsdruck, noch vermehrt durch die Last des wachsenden Mauerwerks, aufzunehmen hat, also eine noch größere Widerstandsfähigkeit besitzen muß, als die ursprüngliche Zimmerung. Die Vereinfachung, die das Rziha'sche System erstens bezüglich des Ausbaues bietet, besteht nun darin, daß bei ihm diese doppelte Auszimmerung sich auf eine einzige beschränkt, indem das Lehrgerüst für die Mauerung gleichzeitig von vornherein als Träger des Gebirges benutzt wird, sodafs, aufser durch das Lehrgerüst, eine vorherige Verzimmerung des Tunnelprofils in Wegfall kommt. Es wird dies mittels einer innerhalb des Mauerwerksprofils auf den Lehrbögen angebrachten Abstützungskonstruktion erreicht, die bei der Mauerung nach Bedarf entfernt wird.

Der Lehrbogen besteht in seiner ursprünglichen Form aus einem gußeisernen Rahmen. Er ist in den Fig. 1, 4, 6 u. 7, Taf. VI in Ansicht und Querschnitt dargestellt. Die Abstützung des Gebirges auf demselben wird durch einen Kranz von

viereckigen, aus alten Eisenbahnschienen hergestellten Rahmstücken bewirkt. Diese treten hier von vornherein an die Stelle der sogenannten Auswechselhölzer, die bei der österreichischen Zimmerungsart während des Fortschreitens der Mauerung an Stelle der einzelnen Gespärrehölzer zur Übertragung des Druckes auf den Lehrbogen eingebaut werden, sie haben daher den Namen „Auswechselrahmen“ erhalten. Diese Auswechselrahmen bilden mit dem Lehrbogen zusammen den „Tunnelrahmen“. Dieser ist nichts anderes, als ein Stollengevier im großen. Als solcher wird er auch bei dem Profilabbau verwandt und hierin besteht zweitens die Vereinfachung des Arbeitsvorganges, die durch das Rziha'sche System ermöglicht wird.

Zur näheren Beschreibung der Konstruktion und des Bauvorganges wählen wir als Beispiele den Bau der Tunnel bei Naensen und Ippensen auf der Braunschweig-Holzmindener Bahn, bei denen das Rziha'sche System in den Jahren 1862 bis 1865 die erste Anwendung fand.

**1. Naenser Tunnel.** Der in runder Zahl 1000 m lange Naenser Tunnel liegt zum größten Teile in sehr druckhaftem wasserreichen Keupermergel, der durchweg ein Sohlengewölbe erforderte. Der Tunnel wurde mit Hilfe mehrerer Aufbrüche betrieben. An jeder Arbeitsstelle kamen 7 bis 8 Tunnelrahmen in Abständen von 1,2 m von Mitte zu Mitte zur Anwendung. Jeder Lehrbogen bildete einen geschlossenen, aus 16 Teilen, sogenannte „Bogenfelgen“, bestehenden Rahmen von I-förmigem Querschnitt (Fig. 4), in der Mitte durch eine Querrippe verstärkt (die Querschnittsfläche war 295 qcm, das Gewicht eines Bogens betrug 6700 kg), und wurde mit drei aus Bahnschienen gebildeten Querträgern *e*, *f* und *g* versehen. Diese waren an den Enden in Gufsansätzen *n* gelagert, außerdem war der untere noch von zwei Stützen *d* getragen, während die beiden oberen mittels der Hängeeisen *h* an zwei Stellen unterstützt wurden. Diese Querträger dienten zur Aufnahme der zum Mauern nötigen Rüstungen („Bühnen“) und wurden daher Bühnenträger genannt. Die, wie bereits bemerkt, aus Bahnschienen hergestellten Auswechselrahmen *l* wurden mittels Hakenschrauben auf dem Lehrbogen befestigt und unter sich mit Schellen *m* verbunden.

Der Längensverband bestand aus einer Anzahl Schienen *k*, an der Innenseite der Lehrbögen und auf den Bühnenträgern mittels Schrauben befestigt; außerdem dienten sogenannte „Strebeschienen“ *w* (Fig. 8) zur diagonalen Verstrebung der einzelnen Bühnen und zur Übertragung des Brustdruckes auf feste Punkte der Lehrbögen. Die Strebeschienen reichten von den einzelnen Lehrbögen bis zu dem dritten rückwärts stehenden Bogen. Sie waren unter den Bühnenträgern angebracht und griffen wie diese in die Gufsansätze *n* ein. Mit den Bühnenträgern zweier rückwärts stehenden Bögen wurden sie verschraubt und mittels hölzerner, zwischen aufgenieteten Winkeleisen und den Bühnenträgern eingetriebener Keile fest verspannt. (Um die Zeichnungen einfach und klar zu halten, sind die Strebeschienen in den Ansichten in Fig. 6 u. 7 ganz fortgelassen; in dem Längenschnitte Fig. 7 sind dieselben nur an den nächsten vor der Brust stehenden Bögen angegeben, obgleich sie in Wirklichkeit stets bei allen Bögen angebracht wurden.)

Der Profilabbau geschah, wie bereits angedeutet wurde, in ganz gleicher Weise, wie bei einem gewöhnlichen Stollen. Wie dort nach Aufstellung des letzten Thürstockes unter dem Schutze der über demselben neu angesteckten Pfähle der Vortrieb der Brust um die Länge der Pfähle über das ganze Stollenprofil von oben nach unten erfolgte, so wurde auch hier im großen Profile nach Aufstellung des letzten Tunnelrahmens vor

der senkrechten Brustwand der Abbau des ganzen Tunnelprofils auf eine Pfahlänge von oben nach unten (also scheibenförmig) vorgenommen, um in dem frei gewordenen Raume, nahe vor der neuen Brust, einen weiteren Tunnelrahmen aufbauen zu können. Zu dem Zweck wurden zunächst in dem Umfang des ganzen oberen Profils über dem letzten Tunnelrahmen neue Pfähle angesteckt und bei gleichzeitiger Beseitigung des Gebirges auf ihre ganze Länge vorgetrieben. Zur Unterstützung der Pfahlenden wurden vor dem Verzuge der neu gebildeten Brust des obersten Profilverteiles auf einem dem Tunnelprofile entsprechenden Gebirgsabsatze Auswechselrahmen vorübergehend aufgesetzt. Diese spreizte man mit Bohlen  $y$  und mit Hilfe von „Tunnelschrauben“  $t$  gegen den rückwärtigen Rahmen ab (vergl. Fig. 2). War in dieser Weise die First gesichert, so erfolgte der weitere Abbau stufenweise bis zur Sohle, wobei die Brust mit einem Verzuge versehen werden mußte. Dieser wurde durch die bereits erwähnten „Tunnelschrauben“  $t$  mit Hilfe von Brustschienen gegen den nächsten Rahmen abgezolt. Die Tunnelschrauben bestanden aus zwei 5 bis 8 cm starken eisernen Schrauben, deren 30 cm lange Mutter mit Doppelgewinde versehen war, um sie nach Erfordernis verlängern oder verkürzen zu können. An dem einen Ende waren sie mit einem gußeisernen Schuhe zum Ansetzen gegen den Brustverzug versehen, während sie an dem anderen Ende in eine Gabel ausliefen, mit der sie den platt geschlagenen Kopf der sogenannten Brustschienen  $s$  übergriffen, an dem sie scharnierartig mit einem Schraubenbolzen festgehalten wurden. Die Brustschienen waren teils zum Aufsetzen auf die Bühnenträger, teils zu ihrer Verstärkung mit einer zweiten Schiene zu einer Doppelschiene vernietet. — Wenn das ganze Tunnelprofil um die Länge des Abstandes der Lehrbogen voneinander (im vorliegenden Falle um 1,2 m) abgebaut war, so wurde ein neuer Tunnelrahmen vor der Brust aufgestellt. Man benutzte dazu den ersten unter dem geschlossenen Gewölbe ausgerüsteten Lehrbogen (vergl. § 89) und die bei der Mauerung frei gewordenen Auswechselrahmen.

Beim Naenser Tunnel bestand der Lehrbogen, wie bereits bemerkt, aus einem geschlossenen Rahmen, indem er mit einem Sohlenbogen versehen war. Der Einbau eines solchen bedingte also die vorherige Herstellung des Sohlengewölbes. Demnach mußte in diesem Falle dem oben beschriebenen Profilabbau der Abbau des Sohlengewölbes vorhergehen. Es geschah dies mit stollenartigem Vorgang über die ganze Breite des Tunnels unterhalb des Sohlenstollens auf die jedesmalige Länge eines Bogenfeldes, wobei die Stollenzimmerung entsprechend unterfangen werden mußte. Die Ausführung des Sohlengewölbes folgte dieser Arbeit unmittelbar nach Herstellung der Auflagersohle, eilte jedoch dem Vollprofile nur um eine Bogenfeldlänge voraus.

Das fertige Sohlengewölbe wurde mit kurzen Bohlen abgedeckt und auf ihm der Lehrbogen nebst sämtlichen Verbindungsteilen und den Auswechselrahmen zusammengesetzt; die letzteren wurden fest gegen die Verpfählung verkeilt und der Abbau eines weiteren Bogenfeldes konnte in der oben angegebenen Weise von neuem beginnen. Waren drei Bogenfelder fertiggestellt, dann wurde in diesen die Mauerung ausgeführt, wobei die Auswechselrahmen nach und nach entfernt und vorübergehend durch Tunnelschrauben (Fig. 3) ersetzt wurden. Gleichzeitig wurde mit dem Profilabbau fortgefahren.

**2. Ippenser Tunnel.** Der Tunnel (rund 220 m lang) liegt in dünnschichtigem, mit lettigen Zwischenlagen versehenen Kalkstein. Ein Sohlengewölbe war hier nur an einzelnen Stellen notwendig, wo es nachträglich eingezogen wurde. Die Lehrbogen bedurften daher keines Sohlenbogens, an seiner Stelle waren die Fußstücke mit großen Fußplatten und mit einem Ansatz für die Fußstreben versehen. Diese und ein starkes

Bohlenunterlager boten den Lehrbögen ausreichend sichere Fußpunkte. Die Tunnelrahmen konnten beim Ippenser Tunnel 1,8 m von Mitte zu Mitte entfernt werden. — Der Bauvorgang geschah in gleicher Weise wie beim Naenser Tunnel, nur insofern vereinfacht, als der jedesmalige vorherige Abbau des Sohlengewölbeprofils in Wegfall kam.

Das Rziha'sche System hat weitere Anwendung gefunden u. a. bei den Tunneln bei Sterbfritz (Elm-Gemünd), Cornberg (Bebra-Friedland), Braunhausen (Bebra-Friedland), Obersheim (Nordhausen-Wetzlar), Bischofferode (Nordhausen-Wetzlar) und Altenburg (bayerische Staatsbahn). Bei den beiden letztgenannten Tunneln wurde der Lehrbogen aus Schmiedeisen hergestellt.<sup>68)</sup> Sein Querschnitt bildete ein I-Eisen von 50 cm Höhe und 193 qcm Fläche. Er war aus einem 15 mm starken Blech und vier Winkeleisen von 1 cm Stärke und  $\frac{8}{15}$  cm Schenkellänge zusammengesetzt. Im übrigen entsprach die Konstruktion der Eisenrüstung der ursprünglich beim Naenser und Ippenser Tunnel zur Anwendung gekommenen.

#### d) Die englische Tunnel-Bauweise.

Nach der früher gegebenen Erklärung versteht man unter der englischen Bauweise einen Bauvorgang, bei dem das volle Tunnelprofil auf gewisse, durch die Konstruktion der Zimmerung in ihrer Länge beschränkte Strecken abgebaut und sodann gleich eingewölbt, also ganz fertig hergestellt wird, bevor mit dem Abbau einer neuen Zone vorgegangen werden kann. — Bei dieser Bauweise sind drei verschiedene Zimmerungsarten zu unterscheiden:

1. Die englische Zimmerungsart: Jochzimmerung mit einseitiger Auflagerung der Joche auf dem bereits fertigen Gewölbe.
2. Das Längsträgersystem: Sparrenzimmerung auf zwei in der Längenrichtung des Tunnels liegende Hauptträger abgestützt (Bauart Menne).
3. Die Brunel'sche Themse-Tunnel-Bauweise: eiserner, die Brust abstützender und mittels Schrauben vorzuschiebender Schild, der gleichzeitig die am hinteren Ende auf dem fertigen Mauerwerk liegenden eisernen Pfähle tragen hilft.

Der Bauvorgang bei der englischen Bauweise wird im Nächstfolgenden an der Hand der beiden erstgenannten Zimmerungsarten näher erörtert werden, während die Themse-Tunnel-Bauweise im § 83 kurz besprochen werden soll.

**§ 77. Die englische Zimmerungsart** (Fig. 1 bis 20, Taf. V). Die Jochzimmerung (vergl. § 62) bezeichnet man in dem Falle als englische Zimmerung, in dem die als Hauptträger das Gebirge stützenden und durch Sprengbolzen gegeneinander abgespreizten Joche (s. Fig. 3 u. 4) an einem Ende auf dem schon fertigen Gewölbe, am anderen auf einem vor der Brust aufgestellten „Bockgespärre“ ruhen.

Das Bockgespärre dient zugleich zur Abstützung des etwa nötigen Brustverzuges. Es besteht aus einer oder mehreren kantigen „Brustschwellen“ und einer Anzahl senkrechter oder wenig geneigter „Stempel“, welche die einzelnen Joche auf die Brustschwellen bzw. diese unter sich und auf die Tunnelsohle abstützen. Die Brustschwellen bestehen in der Regel aus zwei in der Mitte überblatteten Teilen und sind entweder zwischen zwei Jochen eingespannt oder mit ihren noch weiter reichenden Enden in das Gebirge eingebüht. Die obere Brustschwelle *a* wird zunächst auf dem noch vor-

<sup>68)</sup> Über Anwendung von Eisen beim Tunnelbau. Von Betriebsingenieur Freiherrn v. Oer. Mitteilungen des sächs. Ing.- u. Arch.-Ver. 1877.

handenen Gebirge gelagert und dann beim Abbau desselben durch Stempel *f* auf den unteren Brustschwellen abgestützt.

Zum Abstützen des etwaigen Brustverzuges dienen Stempel *s, c, g*, sogenannte Bruststempel, als Anlegehölzer, die im oberen Teile gleichzeitig die Kronenbalken stützen, unterhalb der obersten Brustschwelle aber sehräg in das Gebirge einspringend zwischen diesen und den Brustschwellen eingespannt sind, also zugleich eine weitere Abstützung der Brustschwellen bilden. Diese schräge Lage ist nötig, damit zum Einbau der unteren Brustschwellen, in senkrechter Ebene mit den oberen, Platz frei bleibt. Um den Gesamtdruck des Brustverzuges auf die Tunnelsohle zu übertragen, treten sodann die schrägen „Schubstreben“ *d*, zu zweien an jeder Brustschwelle angebracht, hinzu.

Zur näheren Beschreibung des Bauvorganges denken wir uns zunächst einen Vollausbau fertig hergestellt, sodafs die Mauerung darin auf die Länge des ausgezimmerten Teiles in Fig. 4 ausgeführt werden kann.

a) **Vorgang bei Ausführung der Mauerung.** Man beginnt mit Herstellung des etwa erforderlichen Sohlengewölbes und der beiderseitigen Widerlager unter Benutzung der Schablonen *l* (Fig. 5). Dabei müssen die Stempel, welche die unterste Brustschwelle und die untersten Joche auf die Sohle abstützen, nach und nach gegen kürzere, auf das Mauerwerk gesetzte Stempel, dem allmählichen Fortschreiten des letzteren entsprechend, ausgewechselt werden. Ist das Widerlager bis zur Höhe des untersten Joches aufgeführt, so wird dieses entfernt und durch das Mauerwerk ersetzt. Die Sprengbolzen, die das nächstfolgende Joch gegen das unterste abstützen, werden dabei vorübergehend auf das Mauerwerk gesetzt und mit dessen Fortschreiten gegen kürzere ausgewechselt, bis das zweite Joch selbst fortgenommen werden muß, um dem Mauerwerk Platz zu machen. In dieser Weise werden die Widerlager auf beiden Seiten unter allmählicher Fortnahme der Joche und Bolzen, wenn möglich auch der Pfähle, fertiggestellt. Es folgt dann die Aufstellung der Lehrbögen zur Ausführung des Gewölbes. Bei dem unteren Teile desselben werden auch hier, wie bei den Widerlagern, die Joche mit dem Fortschreiten des Gewölbes entfernt. Bei dem oberen Gewölbeteile geschieht dies nur in festem Gebirge, in druckhaftem dagegen werden die Joche nicht entfernt, sie bleiben vielmehr über dem Gewölbe liegen, während dieses unter den Jochen zum Schlufs gebracht wird. Erst später beim Abbau einer neuen Vorbruchslänge werden diese dann über dem Gewölbe nach vorwärts „gezogen“ und aufs neue benutzt. Es hat dies Verfahren den Zweck, die Ausführung des Gewölbes zu erleichtern und die Anwendung leicht konstruierter Lehrbögen zu ermöglichen, indem der gröfsere Gebirgsdruck in der Firste des Tunnels durch die liegenbleibenden Joche von den Lehrbögen ferngehalten wird.

Um das spätere Hervorholen, das sogenannte „Ziehen“ der oberen Joche zu ermöglichen, müssen zwischen den Jochen über dem Gewölbe gleich bei dessen Herstellung schmale Mauerkörper *m* (Fig. 6) bis fest an die Pfähle eingebaut werden, die imstande sind, nach der Entlastung der Joche den Gebirgsdruck auf das fertige Gewölbe zu übertragen. Die Entlastung der Joche geschieht dann durch Lösen der sie unterstützenden Stempel der Brustverzammerung. Dabei senken sich die von vornherein in etwas ansteigender Lage eingebauten Joche und werden vom Gebirgsdruck frei. Nach dem Ziehen der Joche sind die entstehenden Hohlräume über dem Gewölbe, zur Erzielung einer gleichmäfsigen Verteilung des Gebirgsdruckes auf das Gewölbe, mit Steinen thunlichst sorgfältig auszupacken. Um dies zu ermöglichen, werden die Joche ganz in die Ausweitung der folgenden Zone hervorgezogen und von dem Gewölbe abgehoben.

Während nach Vorstehendem in drückendem Gebirge die oberen Joche in ihrer ganzen Länge aufserhalb des Gewölbes liegen müssen, werden alle übrigen Joche, deren Entfernung bei der Mauerung statthaft ist, nur an einem Ende (am fertigen Gewölbe) aufserhalb desselben gelagert; am anderen Ende (an der Brust) werden sie zur Ersparung von Ausbruchsmasse in das Profil des Widerlagsmauerwerks bzw. Gewölbes hineingelegt. Die Joche liegen demnach größtenteils in etwas schräger Richtung zur Tunnelachse, worauf indessen in den Längenschnitten auf Taf. V keine Rücksicht genommen ist. Die dort dargestellten Querschnitte durch den Vollausbruch sind sämtlich dicht vor der Brustverzimmerung gedacht.

b) **Vorgang beim Abbau einer Zonenlänge.** Nach Fertigstellung des Gewölbes wird der Profilabbau einer neuen Zone in Angriff genommen. Er soll in Folgendem an zwei Beispielen näher erläutert werden, von denen das erste den Bauvorgang in druckhaftem, das zweite in festerem Gebirge darstellt.

1. **Abbau und Auszimmerung in druckhaftem Gebirge.** Als Beispiel diene der Bau des 1120 m langen Blechingley-Tunnels unweit London, der in den Jahren 1840 bis 1842 in blähendem, blauen Thon ausgeführt wurde.<sup>69)</sup> Der Abbau des vollen Profils geschah in Längen von 4 m. Zur Abstützung des Gebirges waren über den ganzen Umfang des Profils in der Regel 25 Joche von 30 cm Stärke verteilt. Dabei waren die oberen 7 oder 8 Joche in ihrer ganzen Länge aufserhalb des Gewölbes gelagert und wurde dieses unter denselben geschlossen; alle übrigen Joche lagen nur an dem einen, durch das fertige Gewölbe gestützten Ende aufserhalb desselben, reichten dagegen mit dem anderen Ende in das Mauerwerksprofil hinein und mußten also bei Ausführung der Mauerung allmählich entfernt werden.

Der Abbau einer neuen Zone begann in der Firste des Tunnels mit einem Einbruchsstollen von 1 bis 1,5 m Weite und 2 m Höhe, der auf die Länge der Zone vorgetrieben wurde und dessen Höhenlage durch die Lage der Scheiteljoche (meist Kronenbalken genannt) über dem Gewölbe bei gleichzeitiger Berücksichtigung einer etwaigen Senkung des Gebirges bedingt war. Mit Ausnahme einzelner Stellen war für den Einbruchsstollen bei der kurzen Zeit der Herstellung eine Auszimmerung überflüssig.

Nach Herstellung des Stollens erfolgte mit Brecheisen, nötigenfalls mit Winden, das Ziehen der Scheiteljoche und die einstweilige Unterstüzung derselben am anderen Ende durch Stempel *s* (Fig. 1, Taf. V) gegen die Stollensohle. Falls nicht schon vorher eine Firstzimmerung notwendig war, mußten dann über den Jochen Firstpfähle, sowie vor den Stempeln *s* Anlegehölzer zum Schutze der Firstdecke bzw. des Bruststofses angesteckt werden.

Von diesem Einbruchsstollen aus wurde dann nach beiden Seiten der obere Profilteil abgebaut. Man bildete dabei zunächst den Raum für den Einbau der folgenden Joche (Fig. 1 u. 2), zog diese über das Gewölbe vor, lagerte sie am anderen Ende vorläufig auf dem Gebirge und stützte sie nach erfolgtem weiteren Abbau durch Hilfsstempel *s'*, die auch den Brustverzug zu halten hatten, während zugleich der Firstverzug über den Jochen angebracht wurde. Wenn an einzelnen Stellen das nachträgliche Anbringen eines Firstverzuges nicht möglich war, so mußte bei dem seitlichen Abbau die in § 58 besprochene Verpfählung mit Pfandlatten und Pfandkeilen zur Anwendung kommen, wobei dann das nachteilige Schnappenlassen der Pfähle unvermeidlich war.

<sup>69)</sup> Simms. Practical Tunneling. London 1877.

In ebensolcher Weise erfolgte der Einbau der folgenden Joche mit gleichzeitiger Vertiefung der Sohle bis auf die Höhe der oberen Brustschwelle  $a$ , wobei man die Hilfstempel  $s'$  u. s. w. nach und nach gegen die endgiltigen Stempel  $s$  auswechselte und vor diesen den Brustverzug bis zur Sohle des abgebauten oberen Profilverteiles herstellte. Vor den Stempeln  $s$  wurde dann auf der geebneten Sohle die obere Brustschwelle  $a$  verlegt und auf dieser die sämtlichen oberen Joche durch eine zweite Reihe Stempel  $h$  nochmals abgestützt, sodafs also die einzelnen Joche an ihrem Brustende doppelt unterstützt waren.

Hierauf folgte der weitere Abbau der Zone nach unten bis zur Tiefe der zweiten Brustschwelle  $b$ . Dabei machte man zunächst durch Einschlitzen den Raum für die beiden Schubstreben  $d$  frei, um möglichst bald durch Einbauen dieser die Brustschwelle  $a$  auf die Tunnelsohle bezw. auf das Sohlengewölbe abzustützen. Entsprechend dem weiteren Fortgange des Abbaues dieser Stufe wurde ferner die unterarbeitete Brustschwelle  $a$  durch die schrägen Bruststempel  $e$  unterfangen und hinter diesen die Brustverzogen. Der Einbau der zugehörigen seitlichen Joche und deren Abspreizung untereinander durch Sprengbolzen geschah mit dem allmählichen Vorschreiten des Abbaues in derselben Weise, wie bei den oberen Jochen; nur legte man, wie bereits hervorgehoben, die Joche (die hier in der Regel den Namen Wandruten führen) an der Brust nicht aufserhalb, sondern innerhalb des Gewölbeprofils, aufserdem mufsten die die Jochenden unterstützenden Bruststempel  $e$  (Fig. 5) schräg angesetzt werden. In einer Tiefe von 2,5 m unter der oberen Brustschwelle erfolgte auf der geebneten Sohle der Einbau einer zweiten Brustschwelle  $b$ , auf die man die obere Brustschwelle und die Enden der betreffenden Joche durch die senkrechten Stempel  $f$  neben den schrägen Bruststempeln  $e$  nochmals dauernd abstützte.

Der weitere Abbau der Zone bis zur Tunnelsohle geschah in gleicher Weise, wie vorstehend beschrieben. Man baute auch hier wieder möglichst bald die unteren Schubstreben  $e$  zur Abstützung der zweiten Brustschwelle ein, stützte diese ferner durch die schrägen Bruststempel  $g$  auf die Sohle ab, brachte den Brustverzug an und baute die unteren Joche mit der Seitenverpfählung und den Sprengbolzen ein.

2. Anwendung eiserner vorschiebbarer Pfähle. In neuerer Zeit ist bei dem Bau eines zweigleisigen Tunnels in London, der zur Vermehrung der Gleise der englischen Nordbahn unter der Güterstation Kings Cross hergestellt worden ist, die englische Zimmerung in einer Form zur Anwendung gekommen, die ihrer Einfachheit und sonstigen Vorteile wegen Beachtung verdient. Es sind dabei die Kronbalken fortgelassen und diese durch einen Kranz von eisernen Pfählen ersetzt, in ähnlicher Weise, wie dies Brunel bei dem Bau des ersten Themse-Tunnels bereits angeordnet hatte (vergl. § 83).

Zu dieser Bauart gab die Lage des Tunnels dicht unter den Gleisen der Kings Cross-Station, deren Betrieb nicht gestört werden durfte, Veranlassung, da nur eine sehr geringe Konstruktionshöhe für die Tunneldecke zur Verfügung stand. Die Lichtweite des Tunnels beträgt 7,6 bis höchstens 7,9 m; die lichte Höhe ist je nach der verfügbaren Höhe verschieden und beträgt an den beschränktesten Stellen 6,8 m. Die im allgemeinen kreisrunde, stellenweise ovale Ausmauerung erfolgte in Ziegelmauerwerk von 0,9 m Stärke in 8 Ringen. Das durchfahrene Gebirge besteht aus hartem, blauen Thon und bot daher keine besonderen Schwierigkeiten.

Bei dem günstigen Gebirge war nur die Firste des Tunnels mit einer vorläufigen Abstützung zu versehen. Es geschah dies mit Hilfe von eisernen, einander übergreifenden Pfählen, die im Querschnitt nach Fig. 177 ausgebildet waren und bei Beginn der Voll-

Fig. 177 u. 178. Vortriebspfähle.

Fig. 177. Querschnitt (nach Jennings u. Stannard).

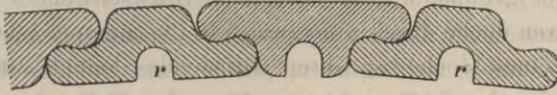


Fig. 178. Querschnitt (nach Duncan).

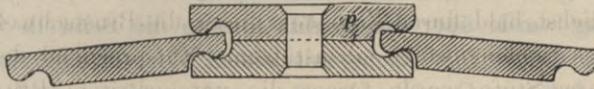


Fig. 180.

Unterzimmerung der Vortriebspfähle.

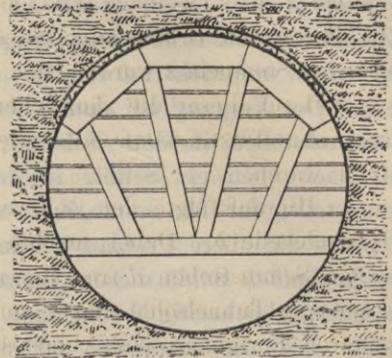
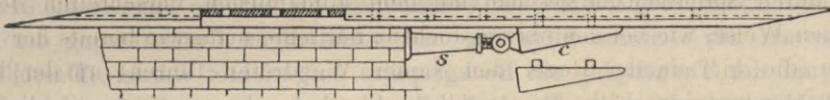


Fig. 179. Anwendung verschiebbarer Pfähle (Längenschnitt).



ausbruchsarbeiten an beiden Enden durch Holzgespärre unterstützt wurden. Nach Herstellung des ersten Gewölbestückes wurden sie einzeln oder zu zweien oder dreien auf dem Gewölbe mittels Schrauben *s* (Fig. 179), die zwischen der Gewölbestirn und zwischen lose in die Pfähle eingreifenden eisernen Konsolen *c* eingespannt waren, vorgezogen und in das Gebirge eingedrückt, das unter diesem Schutz weiter abgebaut werden konnte. Die Pfähle hatten eine Stärke von 5 cm, eine Breite von 15 cm und eine Länge von 3,05 m. Waren die Pfähle soweit vorgeschoben, daß sie nur noch mit einer Länge von 1 m auf dem Gewölbe auflagerten, so wurde ihr vorderes Ende unterzimmert und dabei das Ort (die freie Gebirgsfläche) mit Brettern verzogen (Fig. 180). Die Wölbearbeit konnte dann um ein Stück weitergeführt werden. In die Rillen *r* der Pfähle wurde beim Vortrieb mittels Röhren Cementmörtel eingespritzt, um die entstandenen Hohlräume über dem Gewölbe auszufüllen und so ein Setzen des Gebirges zu verhindern.

Die besprochene Bauart der Pfähle rührt von den Ingenieuren Jennings und Stannard her. Durch den Ingenieur Duncan erfuhr dieselbe in der Fig. 178 gegebenen Querschnittsform eine Verbesserung. Dabei greifen die Pfähle nut- und federartig ineinander, wodurch ein besserer Schluß der Verpfählung erzielt ist. Die Pfähle *p* sind hierbei durch Vernietung zweier einfacher Pfähle hergestellt.

Es hat sich diese Firstverpfählung gut bewährt. Außer ihrer Einfachheit bietet sie den Vorteil geringer Höhe und damit Verminderung des Ausbruchsprofils, sowie Ersparung der Kronbalken und der bei diesen notwendigen Auswechslung der quer auf ihnen angebrachten Verpfählung.

3. Abbau und Auszimmerung in festerem Gebirge. Als Beispiel führen wir den Bau des 2500 m langen Hauenstein-Tunnels im Zuge der Bahn von Olten nach Basel (1853—1857) an, soweit er in festerem Gebirge liegt. Der Bau dieses Tunnels ist in den Fig. 8 bis 15, Taf. V dargestellt.<sup>70)</sup>

<sup>70)</sup> Pressel u. Kauffmann. Der Bau des Hauenstein-Tunnels. Basel 1860.

Das festere Gebirge bedurfte nur einer leichten Zimmerung zur Abstützung des oberen Profilteiles, es genügten dazu sieben Joche, die vor der Brust innerhalb des Gewölbeprofils lagen, sodafs sie bei der Mauerung entfernt werden mußten und das „Ziehen“ derselben über dem fertigen Gewölbe hervor in Wegfall kam. Eine Verzimmerung der Brust war nicht notwendig.

Der Vorgang bei dem Abbau einer neuen Zone war folgender: Anstatt mit einem Einbruchstollen in dem Scheitel des Tunnels zu beginnen, wurde vom Sohlenstollen aus nach oben ein Schlitz in der Breite des Stollens bis zur First des Vollausbruchs hergestellt, der für kurze Zeit ohne Zimmerung stand, sodafs von diesem aus ohne weiteres die obere Profilausweitung vorgenommen werden konnte (Fig. 8 bis 10). Auf der geebneten Sohle dieser Ausweitung wurde über den Schlitz hinweg die Schwelle *a* gelagert; gleichzeitig baute man die oberen fünf Joche mit einem Firstverzuge ein, indem man sie einerseits auf dem fertigen Gewölbe lagerte, andererseits mit den Stempeln *b* auf der Schwelle *a* abstützte. Diese wurde darauf durch die in dem Aufbruchschlitze bis auf die Tunnelsohle reichenden Stempel *c* unterbaut. Unter dem Schutze dieser Zimmerung konnte der Vollausbruch bis auf die Tunnelsohle fertiggestellt werden, worauf zur weiteren Sicherung und nochmaligen Unterstützung der Joche vor der Brust auf der Tunnelsohle ein Bockgespärre aufgerichtet wurde. Dasselbe bestand aus vier Sohlenstempeln, einer Brustschwelle *d* und den Stempeln *f*, welche die oberen Joche auf der Brustschwelle nochmals abstützten und deren Fußpunkte durch zwischengelegte Bohlenstücke gesichert waren. Die Brustschwelle wurde statt durch Schubstreben an ihren Enden durch wagerechte Spreizen *e* gegen das Gewölbemauerwerk abgesteift. Schliesslich baute man noch die beiden unteren Joche ein und unterstützte diese gleichfalls durch auf die Brustschwelle aufgesetzte Stempel. Alsdann erfolgte in dem ganz freien Raume die Mauerung.

Um an Zeit zu gewinnen, eilte man mit dem Aufbruchschlitze den übrigen Arbeiten voraus, sodafs mit der oberen Bogenausweitung sofort nach Schluß des Gewölbes begonnen werden konnte. Ähnlich verfuhr man bei den in druckhafterem Gebirge liegenden Teilen des Tunnels, nur mußten hier die vorauseilenden Einbrucharbeiten auf einen verzimmerten Stollen in der Firste beschränkt werden.

Beim Hauenstein-Tunnel waren eine Zeit lang sieben Aufbrüche gleichzeitig in Betrieb. Es war daher eine besondere Aufmerksamkeit der Förderung zuzuwenden, um einen ungestörten Betrieb aufrecht erhalten zu können. Die Förderung geschah durch einen Sohlenstollen auf einem Gleis von 90 cm Spurweite. Zur Erleichterung des Ladens der gelösten Massen und zur Vermeidung von Gleissperrungen durch Anhäufung von Bergen auf den Gleisen wurden sämtliche oberhalb der Firste des Stollens, sowohl im Schlitze als in der Ausweitung gelösten Berge auf der Decke des Sohlenstollens gelagert und von hier aus durch verschloßbare Öffnungen in darunter gehobene Wagen abgestürzt. Bei druckhaften Gebirgsstrecken, wo man statt eines Schlitzes einen Firststollen vortrieb, wurden die Berge auf der jeweiligen Sohle des Ausbruches aufgehäuft und geschah das Abstürzen in die Tunnelwagen von hier aus durch „Rolllöcher“, die von der First des Sohlenstollens aus nach oben getrieben waren.

c) **Der Bau von Aufbrüchen.** Die als besondere Eigenschaft der englischen Bauweise hervorgehobene Notwendigkeit, dafs in einer Bauzone zunächst nur Ausbrucharbeit und dann nur Mauerung, nicht aber beides gleichzeitig betrieben werden kann, erfordert zur zweckmäßigen Ausnutzung der Arbeitskräfte den gleichzeitigen Betrieb zweier Arbeitsstellen für dieselbe Mannschaft, sodafs an der einen die Bergleute, an

der anderen die Maurer beschäftigt sind, und beide Kolonnen nach Vollendung einer Zone wechseln. Dabei ist die Zahl der Mannschaften so zu wählen, daß die beiderseitigen Arbeiten gleichzeitig fertig werden.

Zur rechtzeitigen Fertigstellung namentlich eines längeren Tunnels sind in der Regel zwei solcher Arbeitsstellen, wie sie etwa der Angriff von den beiden Mundlöchern aus darbietet, nicht ausreichend; man ist daher in den meisten Fällen genötigt, einen Sohlenstollen vorzutreiben, um von diesem aus mit Hilfe von „Aufbrüchen“, deren jeder zwei neue Arbeitsstellen liefert, die erforderliche Zahl von Angriffspunkten zu gewinnen.

Den Bau eines Aufbruches beginnt man mit der Herstellung eines schachtartigen Raumes in der Firste des Sohlenstollens bis zur Firste des Tunnelprofils hinauf (Fig. 11, 12 u. 16). In festem Gebirge giebt man ihm eine Breite gleich der des Sohlenstollens und eine Länge gleich der einer Zone; in mildem, druckhaftem Gebirge ist dies nicht ausführbar, hier müssen die Abmessungen vielmehr auf die eines gewöhnlichen Rollloches (rund 1 m im Geviert) beschränkt werden. In letzterem Falle wird von dem schachtartigen Raume aus ein Firststollen auf die Länge einer Zone ausgeführt und an diesen anschließend ein zweiter schräg liegender Schacht von dem Sohlenstollen aus hergestellt, um durch denselben die Jochhölzer in dem Firststollen aufziehen zu können.

Von der Firste des Firststollens aus, oder in ersterem Falle von der Firste des von vornherein in der Länge einer Zone hergestellten schachtartigen Aufbruches aus wird nach beiden Seiten hin die Bogenausweitung und der Einbau der oberen Joche, sowie des Brustverzuges vorgenommen (Fig. 12). Darauf folgt der weitere Profilabbau nach unten mit der erforderlichen Zimmerung in ähnlicher Weise, wie bei den angeführten Beispielen, mit dem alleinigen Unterschied, daß hier statt der die Brustschwellen abstützenden Schubstreben wagerechte Spreizen  $x$  zwischen den gegenüberliegenden Schwellen zu deren Abstützung eingebaut werden. Nach Vollendung des Vollausbruches wird die Mauerung wie bei dem gewöhnlichen Bauvorgange hergestellt und nach Schluß des Gewölbes in der bereits bekannten Weise der Bau nach beiden Seiten des Aufbruches weitergeführt.

**§ 78. Das Tunnel-Längsträgersystem (System Menne)<sup>71)</sup>** (Taf. V). Die Menne'sche Zimmerungsart ist durch die Anwendung eines in der Längsrichtung des Tunnels liegenden Trägerpaares ( $a a$ , Fig. 16 bis 20) gekennzeichnet, das zur endgiltigen Abstützung der Verzimmerung des oberen Profilverteiles dient. Diese sogenannten „Längsträger“ ruhen auf Böcken ( $b c b$ ), die vor dem Abbau des vollen Profils in örtlichen Erweiterungen des Sohlenstollens aufgestellt werden, sodafs der Abbau der unteren Profilhälfte bis zur Tunnelsohle unter dem Schutze der Längsträger ohne Unterfangungsarbeiten in ähnlicher Weise vorgenommen werden kann, wie dies für die Anwendung vorläufiger Längsträger bei der Beschreibung des Cochemer und Schwelmer Tunnelbaues bereits erwähnt worden ist, vergl. § 74 u. 75. Da bei der Menne'schen Zimmerungsart die Längsträger den wesentlichsten, zur Aufnahme des Druckes bestimmten Teil der endgiltigen Zimmerung bilden, so können sie erst dann entfernt und in der folgenden Zone von neuem verwandt werden, wenn das Gewölbe der betreffenden Zone geschlossen ist. Durch diesen Umstand ist bei dem Längsträgersystem der englische Bauvorgang, d. h. der abwechselnde Betrieb der bergmännischen Arbeiten und der Maurerarbeiten bedingt.

Als erster Vorläufer des Längsträgersystems ist die Zimmerung des unter der Leitung des verstorbenen Geheimen Baurats Menne erbauten 1630 m langen Alten-

<sup>71)</sup> H. Birnbaum. Das Tunnel-Längsträgersystem (System Menne). Berlin 1878.

bekener Tunnels (Eisenbahn von Kreiensen nach Altenbeken, 1862 bis 1864) zu betrachten, da dort infolge ungewöhnlich schwieriger Druckverhältnisse zum erstenmal starke vorläufige Längsträger zur Abstützung der oberen Zimmerung eingebaut wurden. Weitere Ausbildung erhielten die vorläufigen Längsträger beim Bau des Mettericher Tunnels der Eifelbahn, späterhin wurden solche, wie bereits erwähnt, auch beim Bau des Cochemer und stellenweise beim Schwelmer Tunnel angewandt. Während sie aber in allen diesen Fällen stets nur als eine vorläufige Hilfskonstruktion dienten, fanden sie die volle Ausbildung zu einer besonderen endgiltigen Zimmerungsart erst beim Bau des unter der Leitung Menne's in den Jahren 1876—1878 von Ingenieur Birnbaum ausgeführten Ender Tunnels, der im Zuge der Bahnlinie Düsseldorf-Hörde der früheren Rheinischen Eisenbahn das Schieferthon- und Kohlensandstein-Gebirge auf 950 m Länge durchbricht.

Zur näheren Erläuterung der in Rede stehenden Zimmerungsart sollen von dem letztgenannten Baue die wesentlichen Eigentümlichkeiten unter Hinweis auf die Fig. 16 bis 20, Taf. V kurz hervorgehoben werden.

**Ender Tunnel.** Die Firstverzimmerung des Vollausbruches bestand aus einer dreiteiligen Sparrenzimmerung, die ähnlich wie die bogenförmige Firstzimmerung des Cochemer Tunnels aus Hartwich-Schienen gebildet war. Die Sparrenschienen waren aber hier nicht wie bei dem Cochemer Tunnel untereinander verlascht, sondern lagen nebeneinander auf den Unterzügen, sodafs sich ihre Enden übergriffen. — Es hat sich diese Anordnung, durch die namentlich die Auswechselung der Sparren wesentlich erleichtert wurde, sehr gut bewährt. — Die endgiltigen Längsträger *a*, auf die die Sparrenzimmerung mit Hilfe der Unterzüge und der Streben *e* abgestützt wurden, bestanden aus I-Eisen (Fig. 138, S. 156) mit einem Querschnitt von je 187 qcm bei einer Länge von 9 m und einer Höhe von 44 cm. Sie waren mit  $\frac{40}{20}$  cm starken eichenen Halbrundhölzern armiert und durch fünf Paar Laschen und Bolzen mit ihnen fest verbunden. Das Gewicht eines Trägers betrug 2300 kg. Die Böcke (*b c b*), welche die Träger an den Enden stützten, waren aus kantigem Eichenholz hergestellt. Je nach Bedürfnis fand noch eine mittlere Unterstützung durch Stempel *f* statt. Behufs Einbauens der Träger wurde über dem Sohlenstollen ein Firststollen von 3 m Höhe, 2,5 m oberer und 3 m unterer Weite hergestellt, dessen Kappen die endgiltigen Kappen des Vollausbruches bildeten. Bei einem neuen Aufbruch mußte ein kleiner „donlägiger“ (d. h. geneigter) Schacht in der Neigung von 1:3 vom Firststollen zum Sohlenstollen getrieben werden, um die Träger mittels Winden in dem Firststollen aufziehen zu können. Die Träger wurden auf der Firststollensohle entweder vor oder nach dem Aufstellen der Böcke *b c b* gelagert. Bis dahin diente ein in der Mitte der Firststollensohle vorübergehend eingebauter hölzerner Träger *x*, Fig. 16, zur vorläufigen Abstützung der Kappen und Sparrenunterzüge. Das Aufstellen der Böcke *b c b* geschah in schlitzzartigen Aufbrüchen, die von dem Firststollen aus nach unten oder auch vom Sohlenstollen aus nach oben in der Breite der Böcke und in kurzen Längen hergestellt wurden. — Die Zonenlänge betrug in der Regel 7 m; die erste Zone eines neuen Aufbruches wurde indessen der Vorsicht halber nur in 4 m Länge gebaut.

Ähnlich wie beim Hauenstein-Tunnel wurde auch hier zur Beschleunigung des Baues der Firststollen auf die Länge einer Zone fertiggestellt, während noch in der vorhergehenden Zone die Mauerung im Gange war, um sofort nach dem Schlusse der Wölbung und dem Freiwerden der Träger diese in der neuen Zone einbauen zu können, zu welchem Zweck sie mit Winden vorgezogen wurden.

Bei Anwendung mehrerer Trägerpaare würde für die Menne'sche Zimmerungsart auch der österreichische Bauvorgang (d. h. der unterbrochene Abbau des vollen Profils und der gleichmäßige Fortgang der Mauerung) möglich sein, doch möchte der Transport der schweren Träger durch die vorstehende Zimmerung hindurch praktische Schwierigkeiten bieten, auch würde ohne Frage die Standhaftigkeit der Zimmerung dadurch beeinträchtigt werden.

## § 79. Beurteilung der verschiedenen bergmännischen Bauweisen und Zimmerungsarten.

### I. Tunnel-Bauweisen.

Um ein Urteil über die Anwendbarkeit der einzelnen Bauweisen für einen gegebenen Fall zu gewinnen, ist zu untersuchen, in wie weit diese den Anforderungen der Sicherheit, der Schnelligkeit und der Billigkeit Rechnung tragen. Die in diesen Beziehungen — abgesehen von der Art der Zimmerung — zu stellenden Anforderungen lassen sich folgendermaßen zusammenfassen:

Die Sicherheit sowohl der Bauart selbst, als auch des fertigen Tunnels erfordert:

1. Die Möglichkeit einer zuverlässigen Abstützung des ganzen Tunnelprofils und namentlich der Firste zum Schutze der weiteren Arbeiten beim Ab- und Ausbau.
2. Die Möglichkeit des Beginnens der Mauerung mit Herstellung eines Sohlengewölbes im Falle, daß beim Tunnelvortrieb druckreiches bzw. schwimmendes Gebirge zu erwarten ist. Nur wenn solches ganz bestimmt ausgeschlossen bleibt, ist von dieser Forderung abzusehen.
3. Eine gründliche und deshalb nicht allzuschwierige Überwachung der Mauerarbeit.

Bezüglich der Arbeitsdauer ist zu verlangen:

4. Die Sicherung eines der verfügbaren Bauzeit richtig angepaßten Arbeitsfortschrittes.

Die Billigkeit der Ausführung läßt die Berücksichtigung folgender Gesichtspunkte wünschenswert erscheinen:

5. Die Gewinnungs- und Förderungsarbeiten ebenso wie die Ausführung und Überwachung der Mauerung werden durch Beschränkung des Raumes erschwert, also verteuert; sie gestalten sich mithin bei denjenigen Bauweisen am billigsten, die dazu den größten Raum bieten, d. h. die sowohl den Abbau des Gebirges in thunlichst großen Profiltteilen gestatten, als auch für die Förderung und Mauerung einen möglichst großen freien Raum gewähren.
6. Die durch den Bauvorgang bedingte Zimmerung muß mit thunlichst geringem Holzbedarf auskommen und namentlich „verlorene“ Zimmerung muß dabei möglichst vermieden werden.
7. Bei beschleunigter Ausführung ist ein möglichst ununterbrochener Fortgang der bergmännischen und Maurerarbeiten zu erstreben, um die Verteuierung zu vermeiden, welche die andernfalls zum Wechseln der Schichten erforderliche Verdoppelung der Angriffspunkte verursacht (vergl. § 77).

Bevor wir nun nach Maßgabe dieser Anforderungen die einzelnen Bauweisen einer Prüfung unterziehen, muß ganz besonders darauf hingewiesen werden, daß keineswegs bei jedem Tunnelbaue diesen sämtlichen Anforderungen Genüge geleistet werden

mufs. Es liegt z. B. auf der Hand, dafs für einen Tunnel, der zweifelsohne nur festes Gestein durchörtert wird, die unter 2. geforderte Möglichkeit des Beginnens der Mauerung mit Sohlengewölbe überflüssig ist. Steht ferner eine reichliche Bauzeit zur Verfügung, dann tritt die Forderung einer möglichst raschen Ausführung in den Hintergrund, in anderen Fällen kann die möglichst rasche Ausführung alle anderen Rücksichten, so auch diejenige auf billige Ausführung überwiegen.

Man kann daher eine Bauweise nicht deshalb als unzweckmäfsig bezeichnen, weil sie nicht gerade für alle Verhältnisse passend ist, es ist vielmehr für jeden einzelnen Tunnelbau diejenige die beste, die den an dieselbe zu stellenden Anforderungen am besten genügt; nach diesen ist also in jedem einzelnen Falle die Entscheidung über die zu wählende Bauweise zu treffen.

Die Anwendung der oben charakterisierten Anforderungen auf die vorhin beschriebenen vier Tunnel-Bauweisen führt zu nachstehenden Ergebnissen:

a) Die Sicherheit der Ausführung und des fertigen Tunnels.

Die Abstützung der Tunnelfirste gestaltet sich unter allen Bauweisen am einfachsten und daher auch — abgesehen von schwimmendem oder sehr druckreichem Gebirge — am sichersten bei der belgischen. Einmal wird bei dieser Bauweise bis zur Fertigstellung des Gewölbes nur die obere Profilhälfte ausgebrochen, und dadurch wegen des kleinen Ausbruchprofils leichter, als bei den anderen Bauweisen grofser Gebirgsdruck fern gehalten, und zwar ohne dafs dabei die belgische Bauweise bezüglich der Forderung 5, wie weiter unten gezeigt werden wird, in Nachteil käme. Ferner kann auch bei keiner anderen Bauweise die Auszimmerung der oberen Profilhälfte so einfach und sicher hergestellt werden, als bei der belgischen. Die Entfernung der Firste von der Bausohle ist bei diesem Vorgang so gering, dafs die Stempel, die den etwaigen Druck der Firste auf die Sohle zu übertragen haben, ohne Zwischenkonstruktion unmittelbar auf letztere aufgesetzt werden können. Dieser Umstand trägt in hohem Mafse zur Sicherheit der Konstruktion bei. Eine Längenschiebung, ein Kanten der Konstruktion, wie dies namentlich bei der österreichischen Methode die Veranlassung zu zahlreichen Tunnelbrüchen gegeben hat, kann bei der belgischen bei einiger Aufmerksamkeit nicht wohl vorkommen. Zu jeder Zeit kann während der Bauausführung im Falle des Bedarfs die Zimmerung auf einfachste Weise verstärkt werden, sei es durch Vermehrung der Stützen unter den Haupthölzern, durch Einziehung neuer Haupthölzer oder durch unmittelbare Unterstützung einzelner Gebirgsablösungen (grofser Felsblöcke u. s. w.) durch Stempel.

Die Sicherheit der Auszimmerung bürgt aber zugleich am besten für die Güte des Mauerwerkes; diese wird auferdem bei der belgischen Bauweise für die obere Profilhälfte, das Gewölbe, noch durch den Umstand mehr als bei anderen Systemen gewährleistet, dafs man bei allen Arbeiten, als Aufstellen der Lehrbögen, Auswechseln der Konstruktionshölzer während der Mauerung, Hinterpacken des Gewölbes u. s. w. festen Boden unter den Füfsen hat. Das Verpackungsmaterial ist meist in nächster Nähe zu haben und braucht nicht mühevoll auf die Gerüste gehoben zu werden. Besonders wichtig ist es ferner, dafs die Überwachung der Arbeiten bei dieser Bauweise wesentlich bequemer und darum sicherer ist, als bei den anderen.

Nach diesen Ausführungen erscheint die gute Herstellung der oberen Profilhälfte des Tunnels bei der belgischen Bauweise unfraglich leichter als bei allen anderen. — Der Hauptvorwurf, den man derselben macht, ist der, dafs das nachträgliche Aufmauern

der Widerlager, also das Unterfangen des Gewölbes, nachteilig für die Güte der Ausmauerung sei. Dies ist wohl der wesentlichste Grund, weshalb man sich bis vor kurzem in Deutschland zur Einführung der belgischen Bauweise nicht entschließen mochte, obgleich sie in anderen Ländern ausgedehnte Anwendung fand.

Es ist, theoretisch betrachtet, auch nicht zu leugnen, daß eine Ausmauerung, bei der zunächst das Widerlager und dann das Gewölbemauerwerk hergestellt wird, im allgemeinen für eine bessere gelten kann, als eine solche, bei der die umgekehrte Reihenfolge stattfindet.

Wir haben aber gesehen, daß die belgische Bauweise in Bezug auf die Herstellung des Gewölbes mehr Garantie für eine genaue und gute Ausführung bietet, als die übrigen Bauweisen; auf der anderen Seite können nachweislich die Unterfangungsarbeiten bei dem belgischen Bauvorgang in durchaus sicherer Weise bewirkt werden. Sie geschehen in kurzen Längen, das stützende Gebirge wird also während dieser Arbeiten nur in geringer Ausdehnung entfernt, sodafs dabei ein Gewölbedruck kaum zu bemerken ist und wenige einfache Stempel zur Abstützung des Gewölbes vollständig genügen. Das Widerlagsmauerwerk selbst kann zweifellos unter der schützenden Gewölbedecke und bei dem großen freien Raume, der namentlich auch die Überwachung in bester Weise gestattet, mindestens ebenso gut hergestellt werden, als bei anderen Bauweisen; nur die Einfügung der Schlussschicht zwischen Widerlager und dem Kämpfer des Gewölbes erfordert einige Aufmerksamkeit, wobei indessen dieser Schlufs in durchaus befriedigender Weise hergestellt werden kann. Thatsächlich ist denn auch das Setzen des Gewölbes bei sorgfältiger Ausführung der belgischen Bauweise in der Regel unbemerkbar, und beeinträchtigt, falls es etwa doch in geringem Mafse stattfindet, die Güte des Baues nicht. Beweis hierfür ist die große Anzahl von Tunneln, die, nach belgischer Art ausgeführt, in vortrefflicher Weise sich bewährt haben.

Die günstigen Resultate, die neuerdings auch in Deutschland die Anwendung der belgischen Bauweise bei druckhaftem Gebirge ergeben hat, haben bereits vielen deutschen Ingenieuren das Vorurteil gegen diese Bauweise benommen und zu weiterer Verwendung derselben geführt; vergl. Deutsche Bauz. 1880: „Tunnelbauten nach belgischem Bausystem in Deutschland“ von Hövel.

Die drei anderen Bauweisen, die deutsche, die österreichische und englische stehen in Bezug auf die hinsichtlich der Sicherheit gestellte Anforderung hinter der belgischen — immer abgesehen von schwimmendem Gebirge — entschieden zurück. Bei allen drei Arten mufs, bevor mit der Mauerung begonnen werden kann, das ganze Tunnelprofil ausgebrochen werden (bei der deutschen bis auf einen mittleren Kern); infolge dessen steigt nicht allein der Druck des Gebirges, sondern es werden auch wesentlich schwierigere und deshalb weniger haltbare Zimmerkonstruktionen zur Abstützung der Firste und der übrigen Profileile nötig. (Bei dem Rziha'schen Einbau-Systeme wird diesem Übelstande durch die Anwendung von Eisen entgegengetreten.) Die deutsche Bauweise bietet die geringste Sicherheit, da der zur Abstützung benutzte Erdkern in den meisten Fällen so wenig Festigkeit besitzt, daß er keinen genügenden Stützpunkt für die Zimmerung bietet.

Wenn hiernach bezüglich der Sicherheit die belgische Bauweise als die beste bezeichnet werden mufs, so soll sie damit keineswegs für alle Fälle empfohlen werden; es verbietet sich ihre Durchführung von selbst, sobald eine sehr druckreiche oder gar schwimmende Gebirgsstrecke den Beginn der Mauerung mit dem Sohlengewölbe erheischt.

## b) Dauer der Ausführung.

Die Raschheit der Ausführung ist weniger von der Bauweise als vielmehr fast ausschliesslich von der Lage des Richtstollens abhängig. Durch dessen Anlage in der Tunnelsohle ist in allen Fällen die Möglichkeit gegeben, den Bau derart zu beschleunigen, dass für die Fertigstellung des ganzen Tunnels die Zeit zur Herstellung des Richtstollens maßgebend ist, vergl. § 96. Ist demnach die äußerste Beschleunigung der Arbeit geboten, so muss die Bauweise die Anwendung eines Sohlenstollens, also den Betrieb mit Aufbrüchen unbedingt gestatten. Diese Bedingung wird bei allen Bauweisen mit Ausnahme der deutschen erfüllt. Die bei der letzteren vorkommenden seitlichen Sohlenstollen sind durch den stehenbleibenden Gebirgskern in ihrer Ausdehnung derartig beschränkt, dass ein zweckmäßiger Betrieb in denselben für etwaige Aufbrucharbeiten nicht möglich ist.

## c) Kosten der Ausführung.

Der deutsche Bauvorgang steht auch bezüglich der Ausführungskosten allen anderen nach und zwar aus folgenden Gründen:

1. Die Enge der kleinen Stollenprofile und der während der Wölbung stehenbleibende Erdkern erschweren in hohem Grade sowohl die Ausbruch- und Maurerarbeiten, als auch namentlich die gesamte Förderung.
2. Die Verzimmerung der einzelnen Stollen und des Kernes erfordert viel „verlorenen“ Einbau.

Die belgische Bauweise hat mit der englischen und österreichischen die vorteilhafte Gewinnung der Gebirgsmassen in großen Profiltteilen, sowie die Schaffung eines thunlichst großen freien Arbeitsraumes für die Mauerungs- und Förderungsarbeiten gemein; dagegen ist sie vor beiden wesentlich im Vorteile bezüglich des Bedarfs an Zimmerung. Zunächst ist, wie oben bereits hervorgehoben, bei der belgischen Methode der Gebirgsdruck im allgemeinen geringer. Sodann entfällt bei der Zimmerung nicht nur der ganze untere Teil der Gespärre, sondern auch der Lehrbogenunterbau, wogegen nur einzelne Stützen zur Unterfangung des Gewölbes notwendig sind. Damit gestaltet sich die Zimmerung überhaupt bei der belgischen Methode zu einer sehr einfachen und infolge dessen guten und wenig kostspieligen. Gegenüber der englischen Bauweise hat die belgische mit der österreichischen gemeinsam den weiteren Vorteil des ununterbrochenen Fortganges der bergmännischen und Maurerarbeiten.

Die bezüglich der Kosten statthabenden Vor- und Nachteile der österreichischen und englischen Bauweisen sind durch die vorstehenden Vergleiche mit den anderen Bauweisen bereits hervorgehoben. Sie stellen sich untereinander nahezu gleich. Die österreichische Baumethode erfordert mehr Holz, weil bei ihr eine größere Tunnellänge und zwar während längerer Zeit auf Holz steht als bei der englischen, dagegen ist die letztere im Nachteil bezüglich des abwechselnden Betriebes der bergmännischen und Maurerarbeiten.

## d) Gesamtergebnis.

Nach diesen Ausführungen ergibt sich folgendes Gesamtergebnis: Die deutsche Bauweise ist von allen die mangelhafteste. Es ist dies jetzt wohl allgemein anerkannt; sie findet daher gegenwärtig bei Neubauten keine Anwendung mehr, sondern nur für Wiederherstellungsarbeiten bei Tunnelbrüchen, die das Vorgehen mit größerem Profil häufig wegen der im Schutte durcheinander liegenden Zimmerung schwierig, ja unmöglich machen, und wegen der kurzen Längen und der gefährlichen Arbeit weniger die Erzielung einer billigen Ausführung erheischen, als vielmehr überhaupt die Ermöglichung der Wiederherstellung und ihre thunlichste Beschleunigung mit allen Mitteln anzustreben gebieten.

Was die übrigen Bauweisen betrifft, so erscheint die belgische bei festem, gebräuchtem und selbst bei nicht zu nassem, milden Gebirge, das für kurze Zeit und auf kurze Längen in den Ortstößen ohne Verzug während der Unterfangungsarbeiten steht — also in den bei weitem am häufigsten vorkommenden Fällen — wegen der erheblich billigeren und soliden Zimmerung als die beste Bauweise; in stark drückendem, nassen, sich blähenden, milden, sowie in stark rolligem und schwimmendem Gebirge, kurz überall da, wo die Ulmen selbst auf kurze Längen einer Verpfählung bedürfen und wo es nötig werden kann, mit der Herstellung des Sohlengewölbes zu beginnen, empfiehlt sie sich nicht. In diesen nur selten vorkommenden Fällen steht sie bezüglich der sicheren Ausführung hinter der österreichischen und englischen Bauweise zurück.

## II. Beurteilung der Zimmerungsarten.

Die Tunnelzimmerung hat folgende Anforderungen zu erfüllen:

### a) In Bezug auf Sicherheit.

1. Die Zimmerung muß einen regelmässigen Abbau des Gebirges, namentlich der Tunnelfirste gestatten und sich eng an das Gebirge anschließen, um Hohlräume hinter der Zimmerung zu vermeiden.
2. Die Zimmerung soll Unterfangungsarbeiten thunlichst vermeiden, d. h. der Einbau muß von unten auf erfolgen, um Gebirgslockerungen infolge von Setzen der Zimmerung möglichst zu verhüten, da solche den Gebirgsdruck vermehren.
3. Die Zimmerung muß genügende Sicherheit gegen Verdrückungen auch in der Längsrichtung gewähren, insbesondere muß der etwa erforderliche Brustverzug genügend sichere Abstützung finden.
4. Die Zimmerung soll möglichst einfach in der Konstruktion sein, damit jeder Arbeiter den Zweck des einzelnen Konstruktionsteiles erkennen kann.

### b) In Bezug auf die Kosten.

5. Die Zimmerung soll möglichst wenig Material erfordern.
6. Der Aushub der Gebirgsmassen soll auf ein möglichst geringes Maß beschränkt sein und durch die Zimmerung nicht erschwert werden.
7. Die Zimmerung muß möglichst großen freien Arbeitsraum gestatten.
8. Sie muß eine dem wechselnden Gebirgsdruck entsprechende Veränderung ihrer Widerstandsfähigkeit leicht zulassen.

Es sollen nun nach Maßgabe dieser Anforderungen die verschiedenen Zimmerungsarten der einzelnen Bauweisen einer Besprechung unterzogen werden. Dabei schließen wir von vornherein die Zimmerung der deutschen Bauweise aus — da diese nach oben Gesagtem als verwerflich anzusehen, auch nicht mehr gebräuchlich ist — und beschränken uns auf die Zimmerungsarten der drei anderen Bauvorgänge.

Wie in den §§ 71 bis 77 an Beispielen dargethan ist, können bei jeder Bauweise sowohl Joche, als auch Sparrenzimmer zur Anwendung kommen. Es erleichtert die Beurteilung der verschiedenen Zimmerungsarten, wenn vorab die Vor- und Nachteile dieser Hölzer für sich, ohne Rücksicht auf die Art ihrer Unterstützung, besprochen werden.

Was zunächst die Sicherheit der Zimmerung betrifft, so ist bei Anwendung von Jochen nur in den Fällen ein regelrechter Abbau der Tunnelfirste und ein enger

Anschluß der Pfähle an dieselbe möglich, wenn das Gebirge fest genug ist, um das nachherige Anstecken der Pfähle zu gestatten; in druckhafterem Gebirge genügt die Jochzimmerung dieser Forderung nicht, in schwimmendem Gebirge ist sie unausführbar (vergl. § 62). Die Sparrenzimmerung dagegen entspricht der Forderung des engen Anschlusses in jeder Gebirgsart. — Die unter 2. und 3. aufgestellten Bedingungen beziehen sich lediglich auf die Unterstützung der Haupthölzer, kommen hier also nicht in Betracht. — Bezüglich der Einfachheit der Konstruktion ist die Jochzimmerung im Vorteil.

Auch in Bezug auf die Kosten hat die Jochzimmerung vor der Sparrenzimmerung den Vorteil der leichteren Gewinnung infolge der bei der ersteren gegebenen größeren Abbaulänge. Dieser Vorteil ist erheblich und wird um so größer, je fester das Gebirge ist. Ebenso möchte in Bezug auf Holzbedarf, freien Arbeitsraum und Verstärkungsfähigkeit im allgemeinen die Jochzimmerung günstiger sein, während sie bezüglich der Größe des Gebirgsaushubes da, wo Verpfählung des Gebirges notwendig ist, der Sparrenzimmerung nachsteht.

Danach ist die Jochzimmerung in allen den Fällen der Sparrenzimmerung (zu welcher auch die Rziha'sche Eisenrüstung zu rechnen ist) vorzuziehen, wo nach Obigem die Festigkeit des Gebirges ihre sichere und zweckmäßige Ausführung überhaupt gestattet.

### c) Die Abstützung der Haupthölzer

bei den verschiedenen Zimmerungsarten betreffend, ist Folgendes zu bemerken:

α. Die Bockgespärre der belgischen Bauweise. Die bereits hervorgehobene, durch den Bauvorgang bedingte Einfachheit, die gegenüber der österreichischen, der Centralstreben- und der Menne'schen Zimmerung diejenige der belgischen Bauweise auszeichnet, läßt in den Einzelheiten nur geringe Unterschiede zu und hat in Gemeinschaft mit der Eisenrüstung (System Rziha) den Vorzug der Sicherheit gegen Verschiebungen in der Längsrichtung im Gefolge, da die einzelnen Stempel an beiden Enden (oben und unten) feste Stützpunkte haben. Auch können bei Ausführung der belgischen Bockgespärre Unterfangungsarbeiten gänzlich vermieden werden.

Was die Kosten anlangt, so beansprucht die belgische Zimmerung das wenigste Material, gestattet ferner freien Arbeitsraum und läßt sich, wie früher bereits hervorgehoben, nötigenfalls einfacher und leichter verstärken, als die Zimmerungen der übrigen Bauweisen.

### β. Das Bockgespärre der österreichischen Zimmerung.

Zu 2. Ihr Einbau kann, wie wir in § 74 gesehen haben, ohne Unterfangungsarbeiten erfolgen, jedoch nicht ohne Vermehrung der Kosten. Beim Czernitzer Tunnel z. B. wurde der Aufbau der endgiltigen Zimmerung von unten durch die vorherige Erweiterung des Sohlenstollens ermöglicht. Es bedarf keines Nachweises, daß damit nicht nur die vorläufige Zimmerung vermehrt, sondern auch die Gewinnungsarbeiten des betreffenden Profilteiles erschwert, mithin die Kosten vergrößert wurden. Günstiger erscheint die Anwendung von Hilfsträgern (wie beim Cochemer Tunnel), wobei sich die Kostenvermehrung lediglich auf die Beschaffung und den Einbau dieser beschränkt.

Zu 3. Gegen Ausweichen in der Längsrichtung bietet das zweigeschossige österreichische Bockgespärre an sich nur ungenügende Sicherheit; den einzigen Schutz geben Schubstreben gegen die Mittelschwellen. Diese bilden aber keinen eigentlichen Konstruktionsteil der einzelnen Gespärre und werden daher nur gar zu leicht in ungenügender Zahl oder auch in verkehrter Richtung gestellt, besonders in wenig druckhaftem Gebirge,

das nur geringe Verzimmerung erfordert und bei dem namentlich eine Abstützung der Brust nicht erforderlich ist. In diesem Falle sind Schubstreben in beiden Richtungen notwendig, was häufig übersehen wird. Dieser Mangel an eigener ausreichender Festigkeit der österreichischen Bockgespärre gegen Längenschiebung und Kanten ist ein schwacher Punkt derselben, der schon häufig Veranlassung zu Tunnelbrüchen gegeben hat, und zwar in Fällen, wo die Druckerscheinungen gering waren und die Zimmerung diesen an Stärke wohl genügte, die Aufstellung einer allen Umständen entsprechenden Anzahl von Schubstreben aber vernachlässigt wurde. Trat dann unerwartet durch Ablösungen an irgend einer Stelle ein größerer Druck auf, so wichen die Bockgespärre in der Längsrichtung des Tunnels aus und stürzten zusammen. — Es sei gleich hier bemerkt, daß dieser Übelstand auch der Centralstreben- und der Menne'schen Zimmerung anhaftet, wenn auch der letzteren in etwas geringerem Maße, da hier die besonders durchgebildeten unteren Hauptböcke ein- für allemal mit Schubstreben — wenn auch kleineren — in beiden Richtungen versehen sind.

Hiernach ist die österreichische Zimmerung auch ungeeignet, einen stärkeren Brustdruck aufzunehmen, doch ist dies weniger wichtig, weil bei ihrer Anwendung durch den stufenweisen Abbau des Profils ein großer Druck von der Brust her vermieden wird, sodafs zu dessen Aufnahme Schubstreben genügen, deren Erfordernis sich bei vorhandenem Brustdrucke jedem einzelnen Arbeiter aufdrängt und daher hier weit weniger leicht übersehen wird.

Zu 4. In Bezug auf die Einfachheit steht die österreichische Zimmerung der belgischen und englischen, sowie der Rziha'schen Eisenrüstung erheblich nach.

Was die Kosten betrifft, so ist Folgendes hervorzuheben:

Zu 5. Der Materialbedarf ist bei der österreichischen Zimmerung mit Bockgespärren wegen ihrer notwendig nahen Stellung größer als bei der englischen Zimmerung mit Jochen, die nur an einem Ende durch ein Bockgespärre unterstützt sind; wenn auch die stärkeren Abmessungen der Joche einen Teil dieses Mehrbedarfs ausgleichen. Auch die Bockgespärre der Menne'schen Zimmerung dürften mit etwas geringerem Materialverbrauch auskommen.

Zu 6. Der Aushub der Gebirgsmassen ist geringer als bei dem englischen System, das da, wo die Joche auf der Mauerung ruhen, eine erhebliche Profilerweiterung notwendig macht; dagegen werden, wie oben bezüglich des Czernitzer Tunnels bemerkt, bei Ausführung einer Sohlenstollenerweiterung die Abbauarbeiten für diesen Profiltail erschwert. Der letztere Nachteil besteht auch gegenüber der Menne'schen Zimmerung.

Zu 7. In Bezug auf freien Arbeitsraum steht die österreichische Zimmerung der englischen, sowie der Rziha'schen Eisenrüstung weit nach; auch ist sie hierin dem Menne'schen System gegenüber im Nachteil.

Zu 8. Die mit dem wechselnden Gebirgsdrucke erforderliche Veränderungsfähigkeit der Einbaustärke läfst sich durch Verschiedenheit in den Holzabmessungen und in der Entfernung der Bockgespärre erreichen.

γ. Das Bockgespärre des Centralstrebensystems zeigt keine wesentlichen Abweichungen von den vorbesprochenen; es gilt daher auch für diese das unter β. Gesagte.

δ. Die Abstützung der Haupthölzer (Sparrenhölzer) bei der Menne'schen Zimmerungsart. Ihre Vorteile vor den österreichischen Bockgespärren, namentlich derjenige des freien Raumes, sind soeben hervorgehoben. Sie gelten indessen nicht als unbedingte; das Menne'sche System erscheint vielmehr nur in festerem Gebirge an-

wendbar, da seine Konstruktion nicht geeignet ist, einen Druck von der Brust oder von den Seitenwänden her aufzunehmen, ohne durch Anwendung von Hilfskonstruktionen ihre Eigentümlichkeit und damit ihre Vorteile zu verlieren. Im übrigen hat das Menne'sche System mit dem österreichischen gegen die anderen Zimmerungsarten die angeführten Vor- und Nachteile gemein.

ε. Die Abstützung der Haupthölzer (hier Joche) bei der englischen Zimmerung. Sie ist zum Teil bereits durch die vorstehende vergleichende Besprechung beurteilt. Es erübrigt noch Folgendes hervorzuheben:

Zu 2. Der Aufbau des Bockgespärres geschieht allerdings nicht von unten auf, doch in einer Weise, daß ein Setzen der Firste dabei in nicht höherem Grade als bei den übrigen Zimmerungen erfolgen kann.

Zu 3. Längsverschiebungen in der Tunnelrichtung können bei der englischen Zimmerung, wegen der festen Lagerung von Kronenbalken auf der fertigen Mauerung, kaum vorkommen; Ausweichungen des Brustgespärres kann in ausreichender Weise durch Schubstreben vorgebeugt werden, und zwar sind diese hier als ein wesentlicher Bestandteil des Bockgespärres anzusehen, da ohne Schubstreben die Herstellung des letzteren in druckhafterem Gebirge überhaupt unmöglich ist; hierin liegt die Sicherheit, daß ihre rechtzeitige Aufstellung nicht versäumt werden kann.

Zu 7. Die englische Zimmerung gestattet unter allen den freiesten Arbeitsraum, was von erheblichem Vorteil ist.

η. Die Rziha'sche Eisenrüstung. Sie entspricht einer Sparrenzimmerung und hat mit dieser die Vorteile und Nachteile gemein, gestattet jedoch die Aufnahme großer Kräfte und erscheint demnach namentlich für sehr druckhaftes Gebirge geeignet.

Was zunächst die Sicherheit betrifft, so erfüllt das System alle gestellten Bedingungen vollkommener als irgend ein anderes System.

Zu 2. Der Aufbau des Tunnelrahmens geschieht in bester Weise von unten auf.

Zu 3. Ein Ausweichen der Eisenrüstung in der Tunnellängsrichtung ist ausgeschlossen, da jedweder Druck in dieser Richtung unmittelbar auf feste, unverrückbare Konstruktionsteile übertragen wird. Als solche müssen die unter dem fertigen Gewölbe stehenden Lehrbögen angesehen werden, die durch den bedeutenden Druck des Gewölbes mit diesem fest verbunden sind und die den Brustdruck mittels zahlreicher Verbandschienen und der unter den Bühnenträgern angebrachten Strebeschienen aufnehmen.

Zu 4. Die Konstruktion ist äußerst einfach und in sich geschlossen.

Bezüglich der Kosten ist Folgendes zu bemerken:

Zu 5. Das Rziha'sche System erfordert allerdings wenig, aber teures Material; dieses ist jedoch oft verwendbar, sodafs bei langen Tunneln oder bei Verwendung in mehreren Tunneln die Materialkosten für das Meter sich doch leicht billiger stellen, als bei einem Holzbau-System.

Zu 6. Der „verlorene Aushub“ ist wegen der stets genauen Form der Tunnelrahmen geringer, als bei allen Holzbau-Systemen.

Zu 7. Bezüglich des freien Arbeitsraumes kann mit der Rziha'schen nur noch die englische Zimmerungsart in Vergleich treten.

Zu 8. Dagegen bildet der Mangel an Fähigkeit zum Anpassen an den jeweiligen Gebirgsdruck einen schwachen Punkt des Systems, insofern als die Konstruktion nicht gestattet, die Tunnelrahmen in beliebiger Entfernung voneinander aufzustellen. Dies wird verhindert durch die voreinander stoßenden Verbandschienen und durch die eben-

falls auf bestimmte Länge geschnittenen Strebeschienen; außerdem noch durch auf gewisse Entfernung der Lehrbogen voneinander berechnete Stärke der Schallatten, welche letzterer Umstand die Verwendung verschieden langer Verband- und Strebeschienen ausschließt. Es ist demnach nicht thunlich, in festerem Gebirge, wo es wohl zulässig wäre, die Abbaulänge gegenüber der für das druckhafte Gebirge bemessenen zu vergrößern. Dadurch wird in solchen Fällen der Abbau unnötig erschwert, mithin verteuert. Beim Bischofferoder Tunnel hat man sich in der Weise zu helfen gesucht, daß man in festerem Gebirge, anstatt der Auswechselrahmen, Joche mittels kurzer Stempel auf den Lehrbögen einbaute, und somit die Lehrbögen (also die Tunnelrahmen) weiter voneinander entfernen konnte. Doch gehen hiermit das Wesen und die Vorteile des Rziha'schen Systems in der Hauptsache verloren, und es zeigen diese Aushilfen nur, daß seine Vorzüge in festerem Gebirge nicht zur Geltung kommen.

### III. Gesamtergebnis.

Aus den vorstehenden Bemerkungen zu den verschiedenen Bauweisen und Zimmerungsarten folgt also das Gesamtergebnis:

1. In festem und wenig drückendem gebrächen Gebirge (das in der Firste auf kurze Zeit in kleinen Flächen ohne Verzug steht, sodaß ein nachheriges Anstecken der Pfähle möglich) ist die belgische Bauweise mit Anwendung von Jochzimmerung in erster Linie zu empfehlen.

2. In weniger festem gebrächen, ferner in nicht zu nassem, wenig druckhaftem milden Gebirge (das in der Firste allerdings durchweg einer Verpfählung bedarf, aber für kurze Zeit und in kleinen Flächen in den Ulmen noch ohne Verzug steht) ist Sparrenzimmerung vorzuziehen, dabei die belgische Bauweise in erster Linie zu empfehlen, jedoch die englische und österreichische (mit Holzeinbau) nicht auszuschließen. (Bezüglich der Stollenlage bei 1. und 2. vergl. § 96.)

3. In stark drückendem milden, sowie in rolligem und schwimmenden Gebirge (das überall, auch in kleinen Flächen einer Verpfählung bedarf) ist Sparrenzimmerung geboten. Als Bauweise eignet sich hier die österreichische, und zwar am besten mit eisernem Einbau (System Rziha), sofern die Länge des Tunnels die teuren Beschaffungskosten verlohnt; dagegen ist die belgische auszuschließen (wie oben dargethan).

Die größte Schwierigkeit für die Entscheidung über die Bauweise und die Zimmerungsart liegt in der Ungewißheit bezüglich der zu durchfahrenden Gebirgsschichten. Sofern diese nicht mit ziemlicher Sicherheit zu übersehen sind, also namentlich bei langen Tunnelbauten durch große Wasserscheiden u. s. w., muß beides so gewählt werden, daß man allen Vorkommnissen ohne erhebliche Hinderung des Baufortganges, der Förderung und der Entwässerung zu begegnen imstande ist. Dazu ist vor allem der Sohlenstollenbetrieb erforderlich; sodann kann die österreichische Methode und die Sparrenzimmerung allen Verhältnissen angepaßt werden, sie gestattet die streckenweise Verwendung der Eisenrüstung, sowie der beim Cochemer Tunnel benutzten und anderer zweckmäßigen Abänderungen. Da jedoch der Sohlenstollenbetrieb den Wechsel der Zimmerungsart wie der Bauweise in gewissen Grenzen gestattet, so ist unter Voraussetzung des ersteren auch in solchem ungewissen Falle die Anwendung des billigeren belgischen Bauvorganges, sowie der billigeren Jochzimmerung bis zum wirklichen Eintritt druckreicher Strecken nicht auszuschließen.

§ 80. **Ausführung von Tunneln unter Wasser bei Anwendung der gewöhnlichen bergmännischen Bauweisen.** Es mögen hier noch zwei Beispiele für bedeutende Tunnelbauten unter Wasser kurz besprochen werden, die in festerem Gebirge liegend, trotz starken Wasserzutrittes ohne Verwendung besonderer Hilfsmittel mit den gewöhnlichen bergmännischen Ab- und Ausbauweisen durchgeführt worden sind. Nur war es dabei notwendig, besondere Anordnungen für die Wasserhaltung zu treffen und zwar einmal mit Rücksicht auf die Lage der Tunnel, die eine natürliche Wasserführung gänzlich ausschloß, dann auch mit Rücksicht auf den Umstand, daß man bei den überlagernden Wassermassen auf das Zuströmen einer erheblichen Menge Wasser vorbereitet sein mußte.

Es sind dies die Tunnel unter den Ausmündungen des Mersey- und des Severn-Flusses in England.

1. Der **Mersey-Tunnel** wurde in den Jahren 1880 bis 1885 unter der Oberleitung der Ingenieure Brunlees und Fox zur Herstellung einer Verbindung der in Liverpool endigenden Bahnen mit einer in Birkenhead auslaufenden Zweigbahn des Eisenbahnknotenpunktes Chester gebaut. Die Gesamtlänge des zweigleisigen Tunnels beträgt zwischen den Portalen 3200 m, der unter dem Bette des Mersey-Flusses liegende Teil hat eine Länge von 1200 m. Die Flusstiefe beträgt an der Baustelle bei Mittelwasser bis zu 30,5 m. Um daher ausreichende Überdeckung zu erhalten, für die eine Mächtigkeit von mindestens 9 m für notwendig erachtet wurde, mußte der Tunnelscheitel in der mittleren Strecke bis auf 39,5 m unter Mittelwasser gelegt werden, wodurch eine sehr starke Neigung der anschließenden Tunnelstrecken bedingt wurde. Das in Fig. 10, Taf. VII, dargestellte Längenprofil des Tunnels zeigt von Birkenhead ausgehend auf eine Länge von 700 m ein Gefälle von 1:30, dann auf 420 m ein Gefälle von 1:800, ferner auf 200 m eine Steigung von 1:800 und schließlich auf 350 m Länge eine Steigung von 1:27 bis 1:30. An die flach geneigte Mittelstrecke schloßen zu beiden Seiten endgiltige Entwässerungsstollen an, welche in die auf beiden Ufern hergestellten Pumpschächte mit einem Gefälle von 1:500 einmünden. Der Querschnitt des Tunnels mit dem des Entwässerungsstollens ist in Fig. 22, Taf. VIII dargestellt. Das zu durchörternde Gebirge bestand aus rotem Sandstein.

Der Bau begann auf jedem Ufer mit einer Abteufung des 54 m tiefen, außerhalb der Tunnelachse liegenden Pumpschachtes von 4,5 m auf der Liverpoolscher und 5,25 m lichter Weite auf der Seite von Birkenhead. Beide Schächte sind mit je einem Pumpsumpf und einem von letzterem ausgehenden, 30 m langen Stollen versehen, der bei plötzlichen Wassereintritten als Aufnahmebehälter dienen sollte.

In diesen Schächten wurden auf jeder Seite zunächst zwei Pumpen, eine größere und eine kleinere aufgestellt, die durch liegende Verbundmaschinen betrieben wurden. Die großen vermögen je 1000 bis 1300, die kleineren je 436 cbm, zusammen 3200 cbm in der Stunde zu heben, während die größte zu bewältigende Masse in Birkenhead 817 cbm und in Liverpool 953 cbm betrug. Zur Vermeidung von Arbeitsstörungen, die durch Brüche, Erneuerungen an den Maschinen u. s. w. eintreten konnten, wurden noch Hilfspumpen aufgestellt.

Von diesen Pumpschächten aus wurden die Entwässerungsstollen in kreisrundem Querschnitt von 3,14 m Weite aufgeföhren, die auf eine Weite von 2,4 m in Ziegelmauerwerk wasserdicht ausgemauert wurde. Im ganzen wurden bis zum Frühjahr 1883 846 m Stollen von Hand vorgetrieben, wobei auf jeder Seite ein Fortschritt von durchschnittlich 10 m in der Woche erzielt wurde. Für die weitere Aufföhruug der Ent-

wässerungsstollen wurde eine Stollenbohrmaschine von Beaumont & English verwendet, die einen Hohlcylinder von 2,1 m Durchmesser mit vollkommen glatten Wandungen erbohrt (Sprengmaterial ist dabei also entbehrlich), der keiner Ausmauerung bedarf.<sup>72)</sup> Die Leistung dieser Maschine steigerte sich bis zu einem Fortschritte von 30 m in 6 Arbeitstagen. Der Durchschlag des Stollens erfolgte im Januar 1884.

Für die Auffahrung des Tunnels selbst teufte man auf beiden Ufern noch je einen besonderen Förderschacht von 3,0 bzw. 3,6 m Durchmesser und 29 m Tiefe ab. Der auf der Liverpooter Seite liegt in der Tunnelachse, für Birkenhead mußte man denselben seitlich herstellen, weil das Terrain in der Achse nicht frei war. Mit dem ersteren wurde im September 1881, mit dem anderen im November 1882 begonnen. Nach Vollendung dieser Schächte nahm man von ihnen ausgehend auf beiden Seiten den Bau des Tunnels in Angriff. Dies geschah in der Weise, daß man zunächst einen Sohlenstollenvortrieb und von diesem aus durch Aufbrüche eine gröfsere Anzahl Arbeitsstellen für den Ab- und Ausbau des vollen Tunnelquerschnittes schaffte. Das volle Profil wurde nach englischer Art in Zonenlängen von je 3,6 m abgebaut und verzimmert, um darauf sofort mit der Mauerung versehen zu werden. Die Stärke des aus Ziegeln in Cementmörtel ausgeführten Mauerwerks betrug bei dem Unterwasser-Tunnel 0,65 m, während sie bei den landwärts liegenden Tunnelstrecken auf 0,45 m vermindert wurde. Die Zimmerung konnte in dem standfähigen Felsen leicht gehalten werden. Zur Entwässerung des Sohlenstollens wurden zwischen diesem und dem darunter liegenden Entwässerungsstollen 8 cm weite Löcher in angemessenen Abständen hergestellt. Da wo der Tunnel fertiggestellt war, wurde elektrische Beleuchtung eingeführt.

Unter dem Hamilton-Square in Birkenhead und unter der James-Street in Liverpool ist das Tunnelprofil erweitert und nach dem Muster der Londoner Untergrundbahn zu Haltestellen ausgebildet. Diese haben eine Länge zwischen den Weichen von 305 m, eine lichte Weite von 15 m und eine Höhe über den Schienen von 9,1 m. Treppenanlagen und Aufzüge vermitteln den Zugang zu diesen elektrisch beleuchteten Stationen. Bei der Ausführung der Erweiterungen für dieselben kam die belgische Tunnel-Bauweise zur Anwendung.

Die Gesamtkosten der ganzen 4095 m langen Anlage: Tunnel, unterirdische Haltestellen und Anschlußrampen werden von den ersten Anfängen bis zu ihrer Vollendung zu 20000000 M. angegeben.

**2. Severn-Tunnel.** Dieser doppelgleisige Eisenbahntunnel dient zur direkten Verbindung von Bristol mit den Eisenbahnen in Süd-Wales. Seine Gesamtlänge beträgt 7012 m, wovon 3260 m unter der Einmündung des Severn-Flusses in den Bristol-Kanal liegen. In dem Flußbette befinden sich drei vertiefte Rinnen „the Shoots“, von denen die tiefste 500 m Breite und 19,0 m Wassertiefe bei Ebbe und 30,5 m Tiefe bei Flut hat. Der Scheitel des Tunnels sollte ursprünglich in einer Tiefe von 9 m unter dem Bette dieser Rinne liegen und der Tunnel hier auf eine Länge von 300 m horizontal angelegt werden. Der Tunnel wurde aber in einer um 4,5 m tieferen Lage ausgeführt, um eine stärkere Überlagerung zu gewinnen. Von dieser tiefsten Lage steigt der Tunnel nach dem südlichen Ufer zu mit 1:90, nach dem nördlichen mit 1:100, siehe Längenschnitt Fig. 9, Taf. VII.

<sup>72)</sup> Näheres über diese Maschine und über andere sogenannte Tunnelbohrmaschinen findet man im IV. Bande unseres Handbuchs, Kap. X, S. 375 u. ff. (1. Aufl.). In der 2. Aufl. des IV. Bandes werden diese Maschinen in Kap. VIII behandelt werden.

Das zu durchörternde Gebirge besteht aus steil einfallenden Schichten von Kohlen-schiefer und Kohlendstein, der namentlich unter der tiefsten Rinne sehr rissig ist und viel Wasser durchläßt, wodurch die Ausführung sehr erschwert wurde.

Der Tunnel erhielt den in Fig. 21, Taf. VIII dargestellten Querschnitt. Die Ausmauerung geschah in Ziegeln mit Cementmörtel. Die Gewölbstärke von 68 cm wurde unter den „Shoots“ auf 91 cm erhöht.

Ähnlich wie beim Mersey-Tunnel wurde auch hier die endgiltige Entwässerung des Tunnels hergestellt, die aber auf die Anlage nur eines Stollens auf der Seite von Sudbrook (südliches Ufer) beschränkt wurde.

Der Bau begann auf dieser Seite im März 1873 mit dem Abteufen eines 61 m tiefen und 4,5 m weiten Schachtes in der Tunnelachse. Nach Fertigstellung dieses Schachtes im November 1874 konnte mit dem Vortriebe des Wasserstollens, der nach einer Länge von 90 m vom Eintritte in den Tunnel ab gleichzeitig als Sohlenstollen dienen sollte, vorgegangen werden. Der Stollen erhielt einen Querschnitt von 2,1 m Höhe und Breite. Im Jahre 1877 wurde 15 m zur Seite der Tunnelachse neben dem ersten Schachte ein zweiter abgeteuft, der als eigentlicher Pumpschacht dienen sollte und zunächst noch zwei kräftige Pumpen von 0,66 m Durchmesser und 3,0 m Hub aufnahm.

Der Aufschluß des Sohlenstollens ging gut vorwärts; er hatte bereits eine Länge von 3081 m erreicht, als plötzlich am 6. Oktober 1879, 325 m vom Schachte entfernt, in der landeinwärts gleichzeitig betriebenen Strecke unter dem Lande ein Einbruch im Stollen erfolgte, durch den sich 1635 cbm Wasser in der Stunde in denselben ergossen, wodurch die ganze Arbeit auf längere Zeit unterbrochen wurde; es war nicht möglich, den Wasserstand im Schachte tiefer als 9 m (von 50 m) zu senken, trotzdem man die Leistung der Pumpen auf 2100 cbm für die Stunde erhöhte. Nun kam es darauf an, ein vor dem Einbruche in den Stollen eingebautes Dammthor, dessen Schließung nicht rechtzeitig bewirkt war, nachträglich zu schliessen und damit die größte Masse des zuströmenden Wassers vom Schachte abzusperren. Mit gewöhnlichen Apparaten ausgerüstete Taucher konnten jedoch nicht bis zu dieser Dammthüre vordringen, bis es endlich im November 1880 einem Taucher mit Hilfe des interessanten Fleuse'schen Apparates glücklich gelang, mit einem Zeitaufwande von 1 Stunde und 25 Minuten, während welcher Zeit er von der Außenwelt gänzlich abgeschlossen war, die Thür zu schliessen. (Jener Apparat besteht aus einem Helm und einem Felleisen, in dem sich verdichteter Sauerstoff, sowie Natron zur Aufnahme der ausgeatmeten Luft befindet.) Der Wasserspiegel senkte sich nun rasch. Die Arbeiten im Stollen unter dem Mersey wurden wieder aufgenommen, während man die vom Schachte landeinwärts liegende Stollenstrecke durch eine kräftige Quermauer abspernte.

Auf dem nördlichen Ufer hatte man in der Nähe des Seedeiches einen 29 m tiefen und 5,5 m weiten Schacht (Sea-Wall-Schacht) abgeteuft, von welchem aus im Dezember 1878 ebenfalls mit der Auffahrung des Stollens im Gefälle von 1:100 begonnen wurde. Dieser erreichte bis zum 18. Oktober 1879 eine Länge von 511 m und näherte sich damit dem von Sudbrook vorgetriebenen Stollenorte bis auf eine Entfernung von nur 109 m. Am 18. Oktober mußte diese Stollenarbeit aber eingestellt werden, da die Wasserhaltung in dem gegen das Ort zufallenden Stollen nicht mehr durchgeführt werden konnte. Inzwischen hatte man sich zu der oben bereits erwähnten Tieferlegung der Tunnelsohle um 4,5 m entschlossen und man nahm nun eine entsprechende Vertiefung des Sea-Wall-Schachtes vor. Von dieser tieferen Schachtsohle aus trieb man dann unter dem ersten gegen den Fluß geneigten Stollen einen flach

ansteigenden neuen Stollen, der das Wasser des oberen Stollens abführte und diesen trocken legte. Der Stollendurchschlag erfolgte am 18. Oktober 1881. Die Länge des Stollens beträgt zwischen den Schächten 3700 m.

Durch die Tieferlegung der Tunnelsohle wurde dieser ursprünglich als Sohlenstollen hergestellte Stollen zum Mittelstollen und damit fast ganz zwecklos. Es mußte nunmehr mit der Herstellung eines neuen, entsprechend tiefer liegenden Sohlenstollens für die ganze Tunnellänge vorgegangen werden, wodurch der Bau wieder bedeutend verzögert wurde. Zur Förderung der Arbeiten wurden auf der Seite von Sudbrook noch ein Förder- und ein Pumpschacht in größerer Tiefe neu hergestellt, die aufser von oben gleichzeitig auch von unten und zwar mit Hilfe von Querschlägen von den bestehenden Schächten aus betrieben wurden. An den neuen Pumpschacht anschließend, begann nun Ende 1881 der Vortrieb des neuen Wasserstollens und in Anschluß an diesen die Herstellung des neuen Sohlenstollens mit einem Querschnitt von 1,5 m Weite und Höhe. Die Ausführung des Sohlenstollens wurde dadurch beschleunigt, daß man im alten Stollen in Entfernungen von 40 m Niederbrüche herstellte, von welchen aus der Sohlenstollen nach beiden Seiten hin aufgeschlossen wurde. Bei den Stollenarbeiten wurden die Gesteinsbohrmaschinen von Mac Kean und Geath benutzt.

Mit den Ausweitungs- und Maurerarbeiten begann man erst Ende 1880 und zwar im allgemeinen nach der englischen Bauweise mit Zonenlängen von 4 bis 7 m. Wo milderes Gebirge auftrat, ging man unter Beibehaltung der englischen Zimmerung und der damit bedingten Vorgangsweise in einzelnen Zonenlängen zur belgischen Bauweise über, indem man nach dem Abbau der oberen Profilhälfte zunächst das Gewölbe ausführte und die Widerlager nach Beseitigung der Strosse in Längen von  $2\frac{1}{4}$  m durch Unterfangen einbaute.

Zur Mauerung wurde ein Mörtel aus zwei Teilen Cement und 1 Teil Sand verwendet. An sehr nassen Stellen wurde das Gewölbe mit Dachfliz abgedeckt; bei Quellen mauerte man eiserne Röhren von 2,5 bis 10 cm Durchmesser ein, die später mit Holzpflocken fest verkeilt wurden.

Für die Lüftung genügte anfänglich die in den Tunnel für die Bohrmaschinen eingeführte Preßluft, später stellte man in Sudbrook noch einen Guibal'schen Saugventilator von 5,5 m Durchmesser auf. Der Lüftung kam der Umstand zu statten, daß die fertigen Tunnelteile durch elektrische Bogenlichter, welche in 200 m Entfernung voneinander aufgehängt waren, beleuchtet wurden.

Die Beendigung des Tunnelbaues, der nach den Voranschlägen über 20 Mill. Mark gekostet haben wird, erfolgte Ende 1886, also nach einer Bauzeit von 13 Jahren.

Unter den in Aussicht genommenen Tunneln dieser Art nimmt der **Kanal-Tunnel zwischen England und Frankreich** die vornehmste Stelle ein. Bei dem lebhaften Interesse, das weite Kreise diesem für den internationalen Verkehr so bedeutungsvollen Projekte auch jetzt noch entgegenbringen, werden einige Angaben über die bisherige Entwicklung desselben wünschenswert erscheinen. Von den zahlreichen und verschiedenartigen Entwürfen für eine bessere Verbindung der beiden Küsten des Kanals sollen nur die hervorragenderen Tunnelprojekte erwähnt werden. Der französische Ingenieur Thomé de Gamond, welcher bereits im Jahre 1834 mit dem Plane einer Verbindung mittels eiserner, auf den Meeresgrund versenkter Röhren hervorgetreten war, legte als Ergebnis seiner späteren, rühmlichst bekannt gewordenen Untersuchungen im Jahre 1855 dem Kaiser Napoleon den ersten Entwurf zu einem 33 km langen, 25 bis 75 m unter dem Meeresboden liegenden

Tunnel vor, welcher mit Hilfe von 13 Schächten zwischen Kap Grisnic und Eastrovan bei Folkestone ausgeführt werden sollte.

Auf Grund von durch Day und H. Brunel vorgenommenen Tiefenmessungen und Bohrungen auf beiden Ufern, welche letztere bis auf 260 m Tiefe Kreide als Untergrund nachwiesen, stellten Hawkshaw, Low und Brunlees ein neues Tunnelprojekt auf, zu dessen Durchführung 1867 ein englisch-französisches Komitee die Vorverhandlungen einleitete. Durch die Kriegsereignisse 1870/71 verzögert, bildete sich 1872 aus englischen und französischen Interessenten die „Kanal-Tunnel-Gesellschaft“, welche den Bau nach dem Plane von Hawkshaw zur Durchführung bringen wollte.

Nach letzterem soll der Tunnel 34 km lang, in gerader Linie, mit kreisrundem Querschnitt (Fig. 30, Taf. VIII) 100 m unter Meeresboden von Ferme Mouron (zwischen Langatte und Calais) nach St. Margaret (bei Dover) hergestellt werden. Die Tunnellinie liegt hier in grauer Kreide, welche nur wenig wasserdurchlässig und nicht zerrissen ist.

In den Jahren 1879 und 1880 wurde die Arbeit auf beiden Ufern mit dem Abteufen von Schächten begonnen und von diesen aus Versuchsstollen vorgetrieben. Letztere wurden auf englischer Seite mit Maschinen von Beaumont & English im Gefälle von 1:80, auf französischer Seite mit der Maschine von Brunton, später von Beaumont in einer Steigung von 1:30 (gegen das Meer) mit einem runden Querschnitt von 2,1 m Durchmesser erbohrt. Mit der letzteren Maschine erzielte man einen Baufortschritt von 10 m in einem Tage.

Diese Arbeiten — es sind ein Schacht und 2000 m Tunnelstrecke hergestellt — kamen indessen bald aus politischen Gründen zum Stillstand, nachdem die auf Anregung des Admirals Cooper Key 1882 von dem englischen Kriegsministerium und dem Handelsamte eingesetzte Kommission zur Prüfung des Tunnel-Entwurfes die vorgesehenen Einrichtungen für die Landesverteidigung für unzureichend erklärt hatte. Die englische Regierung untersagte im August 1882 die Weiterarbeit auf englischem Gebiete, worauf dann im März 1883 auch die Einstellung auf französischer Seite erfolgte.

Trotz dieser misslichen Umstände kann an der endlichen Durchführung dieses bedeutenden, für den großen Verkehr ungemein wichtigen Unternehmens nicht gezweifelt werden, wie auch die Ausführung anderer geplanten grofsartigen Unterwasser-Tunnel, von denen nur die unter den Meerengen von Gibraltar und Messina angeführt werden mögen, nur als eine Frage der Zeit anzusehen sein dürfte.

## Litteratur,

### Tunnel-Bauweisen betreffend.

Rziha, Fr. Die neue Tunnelbau-Methode in Eisen. Zeitschr. f. Bauw. 1864, S. 258.

Tunnelbau-Methode in Holz und Eisen der Rheinischen Eisenbahn (Längsträgersystem). Deutsche Bauz. 1874, S. 68.

Konyves-Tóth. Über Tunnelbau im allgemeinen, Ursachen der Deformation der Tunnelmauerung, Vorführung eines neuen Tunnelbau-Systems. Wien 1875.

Schutz gufseiserner Konstruktionsteile beim Tunnelbau gegen Einflüsse saurer Grubenwasser. Preufs. Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1875; Zeitschr. f. prakt. Baukunst 1875, S. 47.

Trzeschtk. Über Tunnelbau in „Zur Kritik der Konstruktionen“. Zeitschr. f. prakt. Baukunst, 1875, S. 30.

A. Lorenz. First- oder Sohlenstollen bei Tunnelbauten? Zürich 1875.

H. Birnbaum. Das Tunnellängsträger-System, System Menne. Berlin 1878.

Gripper. Über die Ausführung von Eisenbahn-Tunneln. Engineer 1878, Sept. S. 177 u. a.

Konyves-Tóth. Über neuere Tunnelbauten. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1880, S. 63.

Hövel. Tunnelbauten nach belgischem Bausystem. Deutsche Bauz. 1880, S. 142.

Beurteilung des belgischen Tunnelbau-Systems. Deutsche Bauz. 1882, S. 171.

- Bridel. Ist First- oder Sohlenstollenbetrieb beim Tunnelbau zweckmäßig? Schweiz. Bauz. 1883, I. S. 49 u. 56; Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 127.
- Haupt, G. Einteilung und richtige Anwendung der Tunnel-Bauweisen. Deutsche Bauz. 1887, S. 508 u. 513.
- Ein neues Verfahren zur Herstellung der Tunnel mittels vorschiebbarer Nadeln. Engineer 1890, II. S. 463; Engineering 1890, II. S. 672.
- Patentiertes Verfahren zur Herstellung von Tunnelbauten mittels einer keilförmigen Stirnwand, von Luther Beecher in Detroit (D. R. P. No. 50882). Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 416.
- Der neue Kings Cross-Tunnel. Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahnverw. 1891, S. 613.
- Tunnelvortrieb mittels Stahldeckschienen. Der Techniker 1891, S. 91.
- Tunnelbauten in mildem Gebirge. Engng. news 1892, I. S. 64 u. 276.
- Vortrieb des York-Strafsen-Tunnels der Gürtelbahn in Baltimore. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1892, S. 156.
- Neuere Tunnel-Bauweisen, namentlich im Hinblick auf die Anlage städtischer Verkehrsmittel. Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahnverw. 1894, S. 351, 371, 419, 493, 531, 557, 577, 645, 669, 687.
- Appareil à voussoirs mobiles de Bourdon pour la construction des tunnels sous une faible épaisseur de terre et sans ouverture de tranchée. Génie civil 1896, Bd. 29, S. 60.
- Lernat. Eine besondere Anwendung des Eisens für Bözungen. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1896, No. 48, S. 533.
- Baker. Beitrag zum Tunnelbau. Engng. record 1899, Bd. 40, S. 129.

## B. Tunnelbauten mit Verwendung besonderer Hilfsmittel.

§ 81. Vorbemerkung. Schon vor der Ausbildung der vorbesprochenen Tunnel-Bauweisen kam im Anfang des vorigen Jahrhunderts eine von diesen grundverschiedene Ausführung zur Anwendung, die sich namentlich für die Durchörterung von mildem und rolligem Gebirge bei Vorhandensein starken Wasserzutrittes eignet und in diesem den vorbesprochenen Bauweisen gegenüber erhebliche Vorteile bietet. Obwohl sie in gleicher Weise nicht wiederholt worden ist, bildet sie doch in gewissem Sinne den Ausgangspunkt für eine in neuerer Zeit für mildes Gebirge sehr in Aufnahme gekommene Bauart.

Bereits zu Ende des 18. Jahrhunderts tauchte der Plan auf, zur Verbindung der Stadtteile Rotherhithe und Wapping in London einen Tunnel unter der Themse herzustellen. Im Jahre 1807 wurde von Trevithik mit dem Bau begonnen. Ein Schacht wurde abgeteuft und von diesem aus mit dem Treiben eines Stollens vorgegangen. Doch schon im Jahre 1808 mußte diese Arbeit infolge nicht zu bewältigenden Wasserandranges wieder eingestellt werden. Dem genialen Isambert Brunel, einem Franzosen von Geburt, blieb es vorbehalten, dies große Werk, mit dem er sich ein Denkmal für alle Zeiten geschaffen hat, in der Zeit von 1823 bis 1841 trotz bedeutender Schwierigkeiten, worunter elfmalige Unterbrechung infolge von Wassereinbrüchen, glücklich durchzuführen. Es gelang ihm dies mit Hilfe einer eisernen Vortriebsvorrichtung, eines „Brustschildes“, der, den Querschnitt des Tunnels umschließend, in das Gebirge eingetrieben wurde und unter dessen Schutz der Abbau des Gebirges und der dauernde Ausbau des Tunnels erfolgen konnte.

Die ungünstigen finanziellen Erfolge dieses großartigen Werkes verhinderten nicht, daß die Themse im Jahre 1868/69 nach dem Plane von Barlow zum zweitenmale in der Nähe des Towers (*Tower subway*) untertunnelt wurde, allerdings in erheblich geringerem Querschnitt mittels einer eisernen, 2,13 m im Lichten weiten und 411,5 m langen Röhre, die für den Fußgängerverkehr bestimmt war. Auch Barlow verwendete eine Vortriebsvorrichtung, die aber außerordentlich viel einfacher war, als die Brunel'sche. Sie bestand aus einer einfachen kurzen eisernen Röhre, die das Tunnelrohr auf eine Länge von 0,5 m wie der Deckel eine Büchse umschloß und mittels Pressen, die an

ihrer inneren Leibung angriffen und sich gegen das Tunnelrohr stützten, in das Gebirge eingedrückt wurde, wobei man das Erdreich innerhalb des Schildrohres herausnahm, dann einen neuen Ring an das Tunnelrohr anfügte und aufs Neue mit dem Vortrieb des Schildrohres vorging.

Dieser Barlow'sche Bauvorgang ist als das eigentliche Vorbild für die meisten in neuerer Zeit zahlreich ausgeführten Tunnelbauten, bei denen Brustschilder zur Verwendung gekommen sind, anzusehen, wenn auch die späteren Brustschilder in den Einzelheiten erheblich voneinander abweichen. Das Schildverfahren eignet sich für jedes milde, rollige und schwimmende Gebirge und nimmt in diesen Gebirgsarten heute bei allen denjenigen Ausführungen einen hervorragenden Platz ein, wo eine erhöhte Sicherheit gegen die Folgen starken Wasserzudranges zur Verhütung des „Ersaufens“ eines Tunnels, oder gegen die Bildung von Hohlräumen außerhalb des Tunnels, die Veranlassung zu Senkungen auf der Erdoberfläche geben können, gefordert werden muß. Der erste Fall liegt namentlich bei Tunneln im Grundwasser und unter Flußbetten, der letztere meist da vor, wo die Tunnel in der Nähe bebauter Grundstücke auszuführen sind. Es kommen somit hierfür alle Tunnelausführungen innerhalb bebauter städtischer Gelände in Frage, falls nicht festes Gebirge zu durchhörtern ist.

Mit Brustschildern sind weiterhin noch ausgeführt:

1870 der Beach-Tunnel unter dem Broadway bei der Warrenstreet in New-York.

Dieser Tunnel, in Mauerwerk ausgeführt, hat 2,44 m Lichtweite und war für eine Druckluftbahn bestimmt.

1871—72 ein Kanalisationsrohr in Cincinnati, mit Schild von Beach hergestellt, gemauert und 2,44 m Lichtweite.

Ferner ein gemauerter Tunnel von 1,8 m äußerem Durchmesser zur Wasserentnahme aus dem Eriesee für die Stadt Cleveland.

1884—90 der St. Clair-Tunnel unter dem St. Clair-Fluß am Süden des Huronsees, ein Eisenbahntunnel von 1830 m Länge und 6,04 m Lichtweite, in Eisenauskleidung.

1886—90 die beiden Tunnel der City- und Süd-London-Bahn, je 5,07 km lang und 3,20 bzw. 3,11 m im Lichten weit, mit Eisenauskleidung.

1890—93 ein 800 m langer Teil des infolge finanzieller Schwierigkeiten unfertig gebliebenen Hudson-Tunnels bei New-York. Die Lichtweite des für die Durchführung einer Eisenbahn bestimmten Tunnels beträgt in dem genannten Teil 5,48 m, in Eisen.

1890—92 der Mersey-Tunnel der Liverpools Vyrnwy-Wasserversorgung, 455 m lang und 2,74 im Lichten weit, in Eisen.

1890—93 der Hafentunnel in Glasgow unter dem Clyde-Fluß; ein Drillings-tunnel für Personen- und Fuhrwerksverkehr, 215 m lang und 4,88 m im Lichten weit, in Eisen.

1892—96 die beiden Untertunnelungen des Clyde in Glasgow zur Durchführung der Distriktbahn, 3,35 m im Lichten weit, in Eisen.

1892—94 Untertunnelung des East River bei New-York zur Durchführung einer Gasleitung, 767 m lang und zum Teil mit dem Schild abgebaut, Lichtweite 3,10 m, in Eisen.

1892—97 der Blackwall-Tunnel unter der Themse zur Verbindung der Poplar-, Ost- und West-India-Docks mit den Orten Greenwich und Woolwich, 1362 m lang und 7,62 m im Lichten weit, in Eisen.

- 1892—94 die Düker von Clichy und La Concorde, 465 m bzw. 237 m lang, 2,30 bzw. 1,82 m Lichtweite, in Eisen.
- 1894—97 die Tunnel der Waterloo- und Citybahn in London, 2,5 km lang und 3,70 bzw. 3,88 m und der Tunnel der Waterloo-Station, 7,01 m im Lichten weit, in Eisen.
- 1895—99 der Tunnel unter der Spree bei Treptow, 454 m lang und 3,75 m im Lichten weit, in Eisen.
- 1896—98 der gemauerte Hauptsammelkanal von Clichy intra muros, 2575 m lang, 6 m im Lichten weit und 5 m hoch.
- 1897—98 Oise-Düker in Beton ausgeführt, mit eiserner Ummantelung, 276 m lang und 2 m im Lichten weit.
- Seit 1898 umfangreiche Sielbauten in Hamburg, 4,5 km lang und 2,4 bzw. 3,00 m im Lichten weit, in Ziegelmauerwerk.

Außerdem sind noch eine Anzahl kleinerer Tunnel in Antwerpen, Glasgow, Edinburgh, Melbourne, Schaffhausen (Emmersberg-Tunnel) u. a. m., auf die hier einzugehen zu weit führen würde, zur Ausführung gekommen.

Die Schildbauweise hat nicht allein Anwendung für die Herstellung des vollen Tunnelraumes, sondern auch für die Herstellung einzelner Teile des Tunnelquerschnittes gefunden, insbesondere seiner oberen Hälfte, so z. B. beim York Road-Tunnel in Baltimore, beim Kanal von Clichy extra muros und anderen Kanälen in Paris, bei der Ausführung der Pariser Stadtbahn und der Verlängerung der Orleansbahn in die Stadt hinein, sowie bei der Bostoner Untergrundbahn. In § 84 sind diese Ausführungen zum Teil besprochen.

Bei flach unter der Geländeoberfläche oder unter der Sohle von Flusläufen oder Seen liegenden Tunneln empfiehlt es sich häufig, die Tunnelausführung von Tage aus zu bewirken.

Dieser Fall kommt namentlich in neuerer Zeit bei Herstellung der zahlreich für die großen Städte London, Berlin, Paris, New-York, Wien, Glasgow u. s. w. geplanten und zum Teil in der Ausführung begriffenen, zum Teil schon fertigen Untergrundbahnen in Frage.

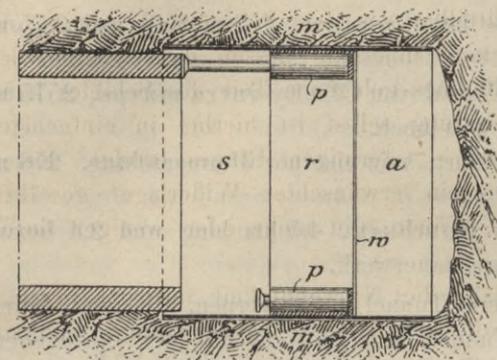
In trockenem Gebirge ist dabei die Ausführung der Tunnel auf die einfachste Weise durch Überwölben offener Einschnitte zu bewirken. Ist das Gebirge aber stark wasserführend, wie dies oft bei den städtischen Untergrundbahnen der Fall ist, die häufig in Grundwasser liegen, so sind noch Vorkehrungen zur Abhaltung des Wassers für den Bau des Tunnels notwendig. Befindet sich die Tunnelsohle nur wenige Meter unter dem Grundwasserstand, so hilft man sich mit wasserdichten Abschlußwänden, zwischen denen die Baugrube durch Auspumpen trocken gelegt wird, ähnlich wie bei den Pfeilerbauten von Brücken oder beim Bau von Ufermauern, unter Umständen nach vorherigem Betonieren der Sohle. Auch hat man bei diesen Bauten das Grundwasser mit Hilfe einer Anzahl in der Baugrube verteilter Rohrbrunnen gesenkt.

Bei größerer Wassertiefe reicht dieses Verfahren aber nicht mehr aus und man ist dann, will man nicht die Schildbauweise anwenden, genötigt, wie auch bei tieferen Brückengründungen, den Tunnel unter Verwendung von Prefsluft mit Senkkästen herzustellen, indem man ihn in den Senkkästen in kurzen Längen ausführt, die man mit einander wasserdicht verbindet. In § 86 ist auf mehrere Beispiele hingewiesen, von denen eins näher erläutert ist.

## § 82. Grundzüge für die Schildbauweise.

1. Der Schild in seiner einfachsten Gestalt (Fig. 181) besteht nur aus dem Schildmantel *m*, d. h. einer cylindrischen Röhre von der Form der äußeren Tunnelwandung, jedoch von etwas größerer Weite, sodafs er über diese hinweggleiten kann. Indem das hintere Ende des Schildmantels auf dem zuletzt fertiggestellten Tunnelteile aufruhet, stützt er gleichzeitig das Gebirge vor dem fertig eingebauten Tunnel ab. Die Brust des Schildes ist bei seiner einfachsten Anordnung offen.

Fig. 181. *Brustschild.*



Neben dem Schildmantel sind unbedingt erforderliche Zubehöerteile eines Schildes die Vorrichtungen, die dazu dienen, den Schild vorwärts zu treiben. Da es sich hierbei in allen Fällen um Überwindung

großer Widerstände handelt, so sind zu diesem Zwecke kräftige, möglichst gleichmäfsig über den Mantelumfang verteilte Vorschubwerkzeuge *p* nötig, bestehend aus einem festen Teil, der mit dem Schildmantel starr verbunden ist und einem beweglichen Teil, der gegen die fertige feststehende Tunnelverkleidung geprefst werden kann. Bei den ersten Ausführungen bestanden diese Vorschubwerkzeuge aus Schraubenspindeln; neuerdings kommen nur noch Druckwasserpressen zur Verwendung. Um den Schild in der gewollten Richtung vortreiben und um Richtungswechsel in wagerechtem und senkrechtem Sinne ausführen zu können, müssen die Druckwasserpressen unabhängig voneinander wirken können.

Nachdem der Schild mit Hilfe dieser Pressen seine äußerste Stellung nach vorwärts erreicht hat, werden die Druckstempel wieder eingezogen, d. h. möglichst weit nach vorn bewegt, wodurch der hintere Raum des Schildmantels, der sogenannte Schwanz *s*, für den Einbau eines neuen Tunnelrings frei wird.

An den Schildmantel sind nun folgende wesentliche Anforderungen zu stellen:

1. Er muß möglichst dünn sein,
2. seine äußere Oberfläche muß durchaus glatt sein,
3. er muß in sich steif genug sein, um gegen Verdrückungen die nötige Festigkeit zu haben.

Die erste Forderung ergibt sich aus dem Umstande, dafs bei dem Vorschieben des Schildmantels sich über dem fertigen Tunnelteil ein Hohlraum bildet, der, wenn er nicht sofort vom Tunnelinnern aus ausgefüllt wird, was häufig durch Einspritzen von Mörtel geschieht, ein Setzen des umgebenden Erdreichs nach sich zieht, das namentlich in der Nähe von Gebäuden von unangenehmen Folgen begleitet sein kann. Trotz der infolge dessen erwünschten geringen Stärke des Schildmantels muß er die erforderliche Widerstandsfähigkeit besitzen. Deshalb wird der Mantel zumeist aus kräftigem Stahlblech, häufig auch aus mehreren übereinanderliegenden Blechen, deren Stöße dann gegeneinander versetzt sind, gefertigt.

Die zweite Forderung ist bedingt durch die möglichste Verminderung der Reibungswiderstände. Es müssen daher, sofern der Mantel aus mehreren miteinander vernieteten Blechen besteht, die äußeren Nietköpfe versenkt sein.

Die dritte Forderung bedingt eine im Innern des Mantels belegene Aussteifung. Diese kann nicht innerhalb des von dem Schwanze des Schildes umschlossenen Raumes erfolgen, da dieser für den Einbau des neuen Tunnelrings vollständig frei bleiben muß, sie wird aber, um die freitragende Länge und damit die Stärke des Schildmantels nach Möglichkeit zu verringern, zweckmäÙig unmittelbar vor dem Schwanze beginnen und sich im allgemeinen über den Raum erstrecken, innerhalb dessen die Cylinder der Druckpressen liegen. Den innerhalb dieses Raumes gelegenen Teil des Schildes kann man als „Rumpf“  $r$  bezeichnen. Die Aussteifung selbst ist hierbei in einfachster Weise durch Einbau eines starken gußeisernen,  $\Gamma$ -förmigen Ringes erfolgt, dessen senkrechter Schenkel den Druckwasserpressen ein erwünschtes Widerlager gewährt, häufig aber werden eine oder auch mehrere Wände, die mehr oder weniger durch Bleche geschlossen werden, eingebaut.

Letztere Anordnung ergibt sich, sobald die Notwendigkeit auftritt, in dem Schildraum eine Abschlußwand  $w$  zu haben, die den davor gelegenen Raum, den sogenannten „Arbeitsraum oder die Arbeitskammer“  $a$  von dem Schwanz des Schildes trennt.

Diese Notwendigkeit tritt fast überall da ein, wo es sich um Durchörterung von rolligen oder wasserführenden Bodenschichten handelt. Bei den erstgenannten rolligen Gebirgsarten muß die Abschlußwand bei plötzlichem Einbruch des Gebirges geschlossen werden können, bei den wasserführenden Gebirgsarten aber kann deren Gewinnung nur dadurch erfolgen, daß die Arbeitskammer unter Druckluft gesetzt und erst hiermit den vor Ort beschäftigten Arbeitern zugänglich wird. Die Abschlußwand muß in diesem Falle vollständig luftdicht hergestellt sein.

Es mag hier gleich erwähnt werden, daß es in solchen Fällen nicht genügt, nur die Arbeitskammer unter Druckluft zu setzen, es muß vielmehr auch der fertige vordere Tunnelraum unter wenn auch etwas niedriger gespanntem Druck stehen, weil andernfalls durch den Spalt zwischen dem Schildmantel und dem letzten Tunnelring, der nie vollständig geschlossen werden kann, Wasser eintreten würde. Es ist deshalb in dem Tunnel selbst noch eine dichte Abschlußwand, die „Schleusenwand“, herzustellen.

Die vordere Kante des Schildmantels wird zur Verringerung des Widerstandes beim Vortreiben schneidenförmig ausgebildet und heißt demzufolge „die Schneide“. Da diese bei dem Vortrieb des Schildes sehr starken Beanspruchungen auf Verbiegen ausgesetzt ist, so reicht für diesen Bauteil das einfache Schildmantelblech meist nicht aus, auch durch Aufnieten weiterer Bleche wird häufig eine genügende Verstärkung nicht erreicht. In wirksamer Weise läßt sich eine solche dadurch herbeiführen, daß das Mantelblech durch ringsum angebrachte konsolartige Träger abgesteift wird, die wohl auch an der Innenseite durch ein Blech verkleidet werden. Erscheint die so erreichte Schneiderverstärkung noch nicht ausreichend, dann bildet man die Schneide aus Gußstahlkörpern, die auswechselbar sind und deren Aufsflächen bündig mit der Schildmantelfläche liegen.

Bei Schilden mit größeren Durchmesser wird eine weitere kräftige Versteifung der Schneide dadurch erreicht, daß für den Abbau der Brust die Zerlegung des Arbeitsraumes in einzelne Zellen durch Einbau wagerechter Arbeitsböden, die wiederum durch senkrechte Wände geteilt werden, ohnehin erforderlich wird.

Die Tiefe der vorderen Arbeitskammer ist im wesentlichen bedingt durch die Beschaffenheit des zu durchfahrenden Gebirges.

Bei gut anstehendem Boden, wie er sich z. B. fast überall auf den Londoner Untergrundbahnstrecken in der Form von festem Thon — dem bekannten London clay — fand, ist es möglich, dem Schild voraus einen kurzen Stollen auf bergmännische

Art zu treiben, sodafs der eigentliche Arbeitsraum vor dem Schild liegt. Der im Schutz des Schildes liegende Arbeitsraum hat daher auch bei den beim Bau der Londoner Untergrundbahnen meist verwendeten Greathead'schen Schilden nur die Tiefe der Schildschneide. Die dicht hinter der Schneide sitzende Abschlusswand ist in diesem Falle mehr als Absteifungswand aufzufassen. Sie bestand in einem Falle nur aus einem eisernen Fachwerk, dessen Fächer im Notfalle mit Brettern zugesetzt wurden; in anderen Fällen waren grofse verschließbare Thüren in der Abschlusswand gelassen.

Handelt es sich dagegen um die Durchfahrung von sehr losem oder mit Wasser durchsetzten Boden, der nur unter dem Schutz des Schildes gelöst werden kann, so ist eine Tiefe des Arbeitsraumes erforderlich, die grofs genug ist, dafs hinter dem mit Böschung in den Schild einfallenden Boden die Arbeiter noch Platz finden: In solchen Fällen wird auch, soweit die genügende Höhe hierfür vorhanden ist, eine Teilung des Arbeitsraumes in einzelne, etwa mannshohe Geschosse, deren Böden gleichzeitig dem Gebirge als Abstützung dienen, nötig. Wenn es sich hierbei um Vortrieb unter Druckluft handelt, so ist die Abschlusswand dicht herzustellen und mit den erforderlichen Personen- und Materialschleusen zu versehen. Bei weichflüssigem Boden wird hierbei auch ein Verziehen der Brust durch „Zumachebretter“ und ähnliche Vorrichtungen nötig, die durch Stempel gegen die Schildwände abgestützt werden. Diese Stempel müssen während des Vortriebs des Schildes entweder durch immer kürzere ausgewechselt, oder — was besser ist — als Wasserdruckpressen oder Schraubenspindeln ausgebildet werden (vergl. § 83, 8 u. 9). Die Arbeitskammer mufs ferner noch Vorrichtungen enthalten, die den Arbeitern bei plötzlichem Wassereinbruch die Möglichkeit bieten, sich in Sicherheit zu bringen.

Findet sich dagegen trockenes und rolliges Gebirge, das in nicht zu flachem natürlichen Böschungswinkel ansteht, dann kann man die Arbeitskammer, soweit sich dies konstruktiv zweckmäfsig ausführen läfst, diesem Böschungswinkel nach Möglichkeit dadurch anpassen, dafs sie oben länger gemacht wird als unten, der Schildmantel also vorn schräg oder treppenförmig abgeschnitten erscheint.

Tabelle XVIII. **Abmessungen verschiedener Tunnelschilde.**

Bezeichnung des Schildes	Äußerer Durchmesser		Gesamtlänge	Längenabmessungen des Schildes				Druckwasserpressen			Gewicht des Schildes t	
	d.	m		Schwanz	Rumpf	Arbeitsraum	Gesamtlänge	Gesamtzahl	Gesamtdruckkraft	Reibungsfläche		Bemerkung
			m									
Düker von La Concorde . . .	2,06	20	1	0,77	0,78	0,36	1,91	4	60	13,16	Vorausbruch	—
Düker von Clichy . . . . .	2,56	20	1	—	—	—	1,88	6	60	13,16	dgl.	—
Wasserleitung u. dem Mersey	3,04	19	2	1,71	0,91	0,91	3,53	10	180-700	33,70	Vorausbruch	—
Gasleitung East River . . . .	3,35	22	2	1,07	0,10	1,12	2,29	12	540	24,09	dgl.	12
City- u. Süd-London-Bahn . . .	3,35	25	2	0,81	0,86	0,31	1,98	6	90	20,83	Vorausbruch	—
Glasgower Distriktbahn . . . .	3,68	13	2	0,81	0,86	0,31	1,98	6	90	22,88	dgl.	—
Waterloo- u. Citybahn . . . .	3,96	13	2	0,84	0,91	0,38	2,13	7	122	26,49	dgl.	—
Glasgower Hafen-Tunnel . . . .	5,26	19	2	0,89	0,91	0,33	2,13	13	228	42,78	dgl.	—
Hudson-Tunnel . . . . .	6,07	32	2	1,47	1,00	1,73	3,20	16	1400	69,99	Vorausbruch	80
St. Clair-Tunnel . . . . .	6,56	25	1	1,22	—	3,43	4,65	24	363-1633	95,78	dgl.	72,6
Hauptziel Clichy intra muros .	7,25	14	1	2,96	1,82	2,50	7,28	6	135-762	108,34	dgl.	—
Blackwall-Tunnel . . . . .	8,23	63	4	2,13	1,80	2,01	5,94	28	2800-4000	153,50	dgl.	220
Waterloo-Station . . . . .	7,57	—	—	1,02	1,68	0,35	3,05	22	660	72,59	dgl.	100
Spree-Tunnel Berlin . . . . .	4,20	10	2	1,15	2,20	1,00	4,70	16	630	86	dgl.	54
Sielbau Hamburg . . . . .	3,20	24	2	1,64	1,41	2,80	5,85	8	—	58,79	dgl.	—

Die vorstehenden Angaben über die hauptsächlichsten Abmessungen einer Anzahl von Schilden sind im wesentlichen dem vorzüglichen Werk von Raynald Legouëz: *De l'emploi du bouclier dans la construction des souterrains*, entnommen.

**2. Die Tunnelauskleidung.** Diese erfolgt in der Regel in Eisen, jedoch auch in Mauerwerk. Die Querschnittsform ist gewöhnlich kreisförmig, doch sind auch andere Formen in Vorschlag gebracht worden und zur Ausführung gekommen. Thatsächlich ist der kreisförmige Querschnitt selten voll ausnutzbar, es ist dies eigentlich nur bei Gas- und Wassertunneln der Fall. Für die Durchführung von Verkehrswegen ist entweder — wie bei eingleisigen Fahrtunneln — die Form einer stehenden, oder — wie bei Durchführung von Strafsen- und zweigleisigen Bahnen — einer liegenden Ellipse oder eines ähnlichen Querschnittes vorzuziehen.

Wenn nun gleichwohl diese Formen bisher nur vereinzelt angewendet sind, so ist dies bei der Auskleidung mit Eisen meist aus dem Grunde unterblieben, weil bei Anwendung der Kreisform die Verwendung gleichartiger Bogenstücke möglich ist, wodurch deren Herstellung und das Zusammensetzen der Tunnelauskleidung erleichtert wird. Das ist aber auch der einzige stichhaltige Grund für die Verwendung der Kreisform, da diese selbst in statischer Hinsicht nicht berechtigt ist.

Bei Herstellung der Tunnelauskleidung aus Mauerwerk hat die Aufrechterhaltung der Kreisform denn auch keine Berechtigung mehr. Ein Nachteil des kreisförmigen Querschnittes ist im übrigen, daß der Schild sich stets dreht, was bei den nicht kreisförmigen Schilden leicht zu vermeiden ist.

Die Tunnelauskleidung erfolgt bei Verwendung von Eisen meist in Gufseisen, jedoch auch in Flufsstahl.

Da bei Verwendung von Schilden der fertige Einbau der Tunnelauskleidung unter dem Schutz der Schilde geschieht, so ergibt sich die Notwendigkeit, die Auskleidung aus einzelnen Ringen herzustellen, sei es nun, daß die Ausführung in Eisen oder in Mauerwerk gewählt wird.

Die eisernen Tunnelringe sind aus einer Anzahl von Bogenstücken zusammengesetzt, die bei kreisförmigen Tunnelröhren untereinander gleich sind, mit Ausnahme des im Scheitel einzubauenden Schlußstücks, das stets eine wesentlich geringere Breite erhält.

Die Bogenstücke sind auf sämtlichen vier Seiten mit Flanschen versehen. Diese haben einmal den Zweck, die Bogenstücke zu Tunnelringen und letztere untereinander zu verschrauben, gleichzeitig aber gewähren die Flanschen eine wesentliche Versteifung der Tunnelwand, aus der sie als ringförmige und wagerechte Rippen hervortreten.

Länge und Breite der Bogenstücke sind so zu bemessen, daß sie neben der erforderlichen Steifigkeit nicht zu schwer werden, um sie leicht zusammensetzen zu können. Werden, wie fast stets bei den Tunneln von größerer Weite, Krane beim Zusammensetzen der Bogenstücke verwendet, so spielt das Gewicht der einzelnen Bogenstücke keine besondere Rolle mehr.

Insoweit Tunnel in wasserführenden Gebirgsschichten zur Ausführung kommen, sind die Tunnelwandungen dicht herzustellen. Zu dem Zwecke werden die Flanschen nach den Fig. 182 bis 185 gestaltet, an ihren Berührungsf lächen vielfach gehobelt und meist noch mit Holzeinlagen, Kitt oder Cement gedichtet. Von den Flanschenverbindungen sind die in Fig. 182 u. 184 in Bogenstrecken nicht verwendbar, weil sie eine starre Verbindung bilden, dagegen lassen sich bei den in Fig. 183 u. 185 dargestellten Verbindungen durch verschieden starke Holzeinlagen sehr wohl Richtungswechsel vornehmen, weshalb diese Formen für die Verbindungen der Tunnelringe untereinander, also für

Fig. 182 bis 185. *Verschiedene Dichtungsarten.*

die Querrippen vorzusehen sind. Die wagerechten Flanschen, die sehr stark durch den Erddruck beansprucht werden, erhalten am besten volle Anlageflächen nach Fig. 182 u. 183.

In nachstehender Tabelle sind die wesentlichsten Angaben über die zur Ausführung gekommenen eisernen Tunnelauskleidungen enthalten.<sup>73)</sup>

Tabelle XIX. **Abmessungen und Gewichte von Tunnelverkleidungen.**

Name des Tunnels	Äußerer Durchmesser m	Länge der Tunnelringe cm	Bogenstücke		Breite des Schlufstückes cm	Wandstärke der Tunnelauskleidung mm	Flanschen		Gewicht d. Tunnelverkleidung für das m kg
			Zahl	Breite m			Höhe cm	Stärke mm	
Kanalisation Glasgow . . . . .	1,41	45,7	5	0,80	—	19	9,5	—	—
Düker La Concorde . . . . .	2,00	50	4	1,20	28	20	9	23	1332
London Tower . . . . .	2,13	45,7	3	2,00	28	—	6	23	1418
Düker von Clichy . . . . .	2,50	50	5	1,40	24	25	10	25	2162
Mersey . . . . .	3,05	45,7	10	0,91	25	42	15,5	42	4556
East River . . . . .	3,30	40,6	9	0,91	20	32	10	32	3500
City- u. Süd-London-Bahn . . . . .	3,43	50,8	6	1,64	23	22	11,5	30	2800
Glasgow-Distriktbahn . . . . .	3,66	45,7	9	1,25	23	25	15,5	25	3334
Waterloo- u. Citybahn . . . . .	3,96	50,8	7	—	—	22	13	30	3460
Glasgow-Hafen . . . . .	5,18	45,7	13	1,23	27	25	15	—	6781
Edinburg . . . . .	5,34	45,7	14	1,34	23	44	18	36	10551
Hudson . . . . .	5,94	45,7	9	—	—	32	23	38	9519
St. Clair-Tunnel . . . . .	6,40	46,3	13	1,52	25	51	18	60	13900
Waterloo-Station . . . . .	7,47	45,7	14	—	—	—	23	—	—
Blackwall . . . . .	8,23	76	14	—	—	51	30,5	64	22000
Spree-Tunnel . . . . .	4,00	<sup>65</sup> <sub>150</sub>	9	1,37	—	10	10	10	4800

Während bei den früheren Ausführungen — allerdings mit Ausnahme des ersten Themse-Tunnels und einiger in Amerika ausgeführten — nur Eisenverkleidungen zur Anwendung kamen, ist, namentlich bei den neueren Pariser Tunneln, die Ausmauerung der Tunnel wieder in Aufnahme gekommen, da diese Ausführung dort, wo geeignetes Mauerungsmaterial billig zur Verfügung steht, eine erhebliche Ersparnis gegenüber der Verwendung von Eisen mit sich bringt, besonders wenn die Verwendung von Druckluft nicht erforderlich ist. In letzterem Falle ist die Tunnelausmauerung deshalb wenig günstig, weil stärkere Druckluftverluste durch die Poren des Mauerwerks eintreten; immerhin können diese durch eine sachgemäß ausgeführte Hinterspritzung desselben mit Mörtel stark verringert werden, sodafs die Ausmauerung, namentlich bei größeren Tunnelquerschnitten, auch dann noch Vorteile bietet. Die Schnelligkeit des Vortriebs wird durch die Herstellung der Tunnelauskleidung in Mauerwerk nicht beeinträchtigt, wenn die Bauart des Schildes gestattet, verschiedene Ringe gleichzeitig in Arbeit zu nehmen,

<sup>73)</sup> Nach Legouéz. De l'emploi du bouclier dans la construction des souterrains.

so hat z. B. der tägliche Fortschritt beim Sammelkanal von Clichy, der in Mauerwerk ausgeführt ist, im Mittel 5,45 m und als Höchstleistung 9,10 m betragen.

Zwischen der Tunnelverkleidung und dem Schildmantel wird stets ein wenn auch geringer Spielraum belassen, um ein Klemmen des Schildes zu vermeiden und die Möglichkeit einer Richtungsänderung desselben zu haben. Dieser Spalt bildet aber in wasserführenden Schichten, wo Druckluft zur Verwendung kommt, nicht nur die Quelle starker Druckluftverluste, sondern auch eine stete Gefahr für Wassereinbrüche. Man hat deshalb am Ende des Schildmantels Kautschuk- oder Stahlstreifen befestigt, jedoch ohne besonderen Erfolg wegen der starken Abnutzung und Verschiebung dieser Streifen oder Ringe; auch hat man den Spalt mit Thon gedichtet, was jedoch umständlich ist. Am besten hat sich noch ein Verschluss des Spaltes mittels eines Gummiringes bewährt, der vom lichten Raum des Schildes aus, gewöhnlich unter Zuhilfenahme der Pressenfüße, gegen den Spalt geprefst wurde. Um beim Einbau neuer Bogenstücke diesen Ring nicht auf einmal entfernen zu müssen, hat man ihn in soviel Stücke zerlegt, als Druckwasserpumpen vorhanden waren.

**3. Das Lösen und die Förderung vor Ort.** Die Schnelligkeit des Tunnelvortriebs ist fast nur von dem Lösen und der Förderung des Bodens vor Ort abhängig, da sowohl für das Verschieben des Schildes als auch für den Einbau der eisernen Tunnelverkleidung verhältnismäßig wenig Zeit erforderlich ist und somit die Erdarbeiten aus diesem Anlaß keine längeren Unterbrechungen erfahren. Für die Beschleunigung der Erdarbeit ist es daher von Wichtigkeit, daß die ganze Brust gleichzeitig in Angriff genommen werden kann, weshalb bei größeren Schilddurchmessern eine Zerlegung des Arbeitsraumes in mehrere Geschosse zweckmäßig ist. Die Förderwagen fahren hierbei möglichst bis unmittelbar unter die in der Schildwand befindlichen Luken oder Materialschleusen. Bei Vorhandensein gut anstehenden Bodens vor Ort hat man diesen auch durch Trockenbagger gewonnen und hiermit eine Beschleunigung der Erdarbeit erreicht.

Erfolgt die Tunnelauskleidung in Mauerwerk, dessen Herstellung selbstverständlich mehr Zeit erfordert, so kann die Förderung nicht während der Ausführung der Mauerung unterbrochen werden. Man hat deshalb den vor Ort gelösten Boden in die hinter dem Schild aufgestellten Wagen zweckmäßigerweise mit Hilfe eines Förderbandes geschafft und so die Förderung von der Ausmauerung unabhängig gemacht.

Bei Verwendung von Druckluft müssen die Förderwagen durch die im Tunnel eingebaute Luftschleuse hindurchgehen und ist diese dann so geräumig einzurichten, daß die Bodenförderung durch das Durchschleusen der Wagen keinen Aufschub erleidet.

Der Abbau des Bodens vor Ort bietet in festen Bodenarten, wie z. B. Thon, keine Schwierigkeiten. Man hat hierbei zur Erleichterung des Schildvortriebs meist einen kurzen Stollen mit oder ohne Zimmerung dem Schild vorausgetrieben, sodafs die Schildschneide dann nur den am Umfang noch stehengebliebenen Boden wegzudrücken hat. Bei weichflüssigem Boden muß dagegen die Brust vollständig geschlossen werden. Der Boden muß dann durch kleine verschleißbare Öffnungen, die vor der Schildwand in dem Brustverzug belassen sind, in den inneren Schildmantel nach der jeweiligen Vortriebsgeschwindigkeit abfließen.

Bei rolligem Gebirge ist darauf zu achten, daß der mit natürlicher Böschung einfallende Boden nicht zu steil abgegraben wird, um Nachstürze zu vermeiden. Die Schildschneide muß hierbei stets in gewachsenen Boden eingreifen. Bei Verwendung von Druckluft ist auch bei diesen Bodenschichten die Brust zu verziehen oder mit Thonschlag zu versehen, um einen zu starken Luftverlust zu vermeiden.

**4. Anwendung von Druckluft zur Wasserabhaltung.** Bei Anwendung der Druckluft beim Tunnelbau zum Zwecke der Wasserabhaltung ist in den Fällen, wo die über der Tunnelfirst verbleibende Bodendecke keine große Stärke hat, wie dies bei Untertunnelung von Flusläufen meist der Fall ist, stets mit Vorsicht zu verfahren. Da der Wasserdruck in der First des Tunnels am geringsten, in der Sohle des Tunnels aber am größten ist und von oben nach unten gleichmäßig zunimmt, so müßte zur Herstellung des Gleichgewichts auch der Luftdruck in jeder wagerechten Ebene dem Wasserdruck gleich groß sein, also auch von oben nach unten gleichmäßig wachsen. Dies ist jedoch nicht ausführbar. Selbst die Teilung der Arbeitskammer in mehrere übereinander liegende Luftkammern mit verschieden hohem Druck läßt sich schwer durchführen, weil ein Entweichen der in der unteren Kammer befindlichen höher gespannten Luft nach oben hin in die unter niedrigerem Druck stehenden Bodenschichten nur sehr schwer verhindert werden kann und bisher auch noch nicht praktisch erprobt ist.

Ist der Luftdruck so groß, daß die ganze Tunnelbrust wasserfrei liegt, so besteht demnach an der First ein Luftüberdruck, der bei nicht genügender Tunnelüberdeckung einen plötzlichen Ausbruch der Luft mit gleichzeitigem Wassereintritt, also ein Ersaufen der Arbeitskammer oder gar des ganzen Tunnels bis zur Schleuse zur Folge haben kann. Hält man aber den Luftdruck niedriger, als der Wasserdruck an der Sohle ist, und zwar etwa in mittlerer Spannung zwischen dem Wasserdruck oben und unten, so ist die Tunnelbrust zwar oben trocken, unten jedoch tritt Wasser oder flüssiger Boden ein. Es wird je nach der Lage der augenblicklichen Boden- und Überlagerungsverhältnisse zweckmäßig sein, den Luftdruck bald höher, bald niedriger zu halten.

Wie oben bereits erwähnt worden ist, wird bei Verwendung von Druckluft nicht nur der vordere Arbeitsraum im Schilde, sondern der ganze vordere Tunnelraum unter Druckluft gesetzt. Bei nicht zu ungünstigen Bodenarten ist hierbei häufig ein Schließen der Öffnungen in der Schildquerwand unnötig.

Die zum Zwecke der Drucklufthaltung im vorderen fertigen Tunnelteil herzustellende dichte Abschlußwand, die „Schleusenwand“, ist zur Ermöglichung des Übergangs aus und nach dem mit der atmosphärischen Luft in Verbindung stehenden hinteren fertigen Tunnel mit den hierzu erforderlichen Luftschleusen zu versehen, außerdem sind durch die Schleusenwand sämtliche Leitungen hindurchzuführen. In der Hauptsache sind dies folgende: die Druckluftleitung für den Schildvortrieb und die Hoch-Druckluftleitung für die Mörtelinspritzung, die Druckwasserleitung für die Pressen, die Druckwasserleitung für die Mörtelinspritzung, die Licht- und Fernsprechleitungen. Außerdem sind in der Schleusenwand noch folgende Rohre einzulegen: Ein langes mit Lufthähnen und beiderseits verschließbares Rohr zum Durchschleusen von Schienen und anderen langen Gegenständen, ein mit Hähnen versehenes Rohr zum Wasserablaß aus der Arbeitskammer, ein mit Hähnen und Gläsern versehenes Rohr für die Tunnelabsteckung.

Die Schleusenwand muß stark genug sein, um dem Luftdruck widerstehen zu können; sie wird gewöhnlich aus Ziegelmauerwerk hergestellt und mit dichtem Putz versehen.

Die für die Durchschleusung von Personen und Förderwagen dienenden Hauptschleusen sind gewöhnlich 1,50 m weit und 1,80 m hoch. Gewöhnlich liegen zwei Schleusen nebeneinander. Bei weichen Bodenarten ist darauf zu halten, daß stets eine dieser Schleusen nach dem vorderen Tunnel zu geöffnet ist, um bei plötzlichem Wassereintritt die sich flüchtenden Arbeiter sofort aufnehmen zu können. Auch hat man zwei Schleusen unmittelbar voreinander gelegt, wobei die nach dem Ort zu gelegene

Schleuse aus dem gleichen Grunde stets geöffnet bleiben muß. Bei Tunneln von größerer Weite endlich hat man eine Notschleuse in der First der Schleusenwand eingebaut, um im Falle, daß die unteren Schleusen bereits unter Wasser gesetzt waren, ehe die sich flüchtenden Arbeiter sie erreicht hatten, diesen noch die Flucht durch die obere Schleuse zu ermöglichen. Damit diese Schleuse auch stets von den Arbeitern erreicht werden konnte, hat man außerdem in kurzer Entfernung hinter dem Schild in der oberen Tunnelhälfte eine dichte Wand, eine sogenannte „Schürze“ eingebaut, über deren unteren Rand das Wasser nicht hinaufsteigen konnte, da die darüberstehende Luft wie in einer Taucherglocke fest eingeschlossen war und in dem so wasserfrei bleibenden Teil einen von der Schürze nach der Notschleuse führenden Laufsteg gelegt.

Nachstehend geben wir noch eine Tabelle, in der die von den Schilden durchfahrenen Strecken, die höchste und durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeit in 24 Stunden und der Preis für das laufende Meter angegeben sind.<sup>74)</sup>

Tabelle XX.

## Mit Schilden durchfahrene Strecken, Vortriebsgeschwindigkeiten und Kosten.

Name des Tunnels	Lichte Weite m	Von dem Schild durchfahrene Strecke m	Höchste Durchschnittliche Vortriebsgeschwindigkeit in 24 Stunden		Preis für das lfd. m M.	Bemerkung
			m	m		
Düker von La Concorde . . . . .	1,82	240	3,00	2,15	1450	einschl. der Schächte.
London Tower . . . . .	2,00	410	2,74	2,58	530	
Düker von Clichy . . . . .	2,30	470	2,50	1,80	1600	einschl. der Schächte.
Mersey . . . . .	2,74	245	2,40	1,50	—	
East River . . . . .	3,10	50	—	1,22	—	
City- und Süd-London-Bahn . . . . .	3,20	400	4,80	3,52	990	
Glasgower Distriktbahn . . . . .	3,35	250	—	1,00	1760	
Waterloo- und Citybahn . . . . .	3,70	800	—	3,05	1840	
Glasgower Hafen . . . . .	4,88	215	0,90	0,60	1760	nur für den nicht unter Druckluft ausgeführt. Teil.
Hudson . . . . .	5,48	350	3,04	1,50	4000	
St. Clair-Fluß . . . . .	6,04	915	4,67	2,32	4570	
Blackwall . . . . .	7,62	940	3,81	2,50	12000	
Clichy extra muros . . . . .	6,00 × 5,00	1250	9,10	5,45	—	
„ intra „ . . . . .	6,00 × 5,00	—	6,00	3,20	—	
Spree-Tunnel . . . . .	3,75	375	2,00	1,40	—	

## § 83. Beispiele für die Schildbauweise.

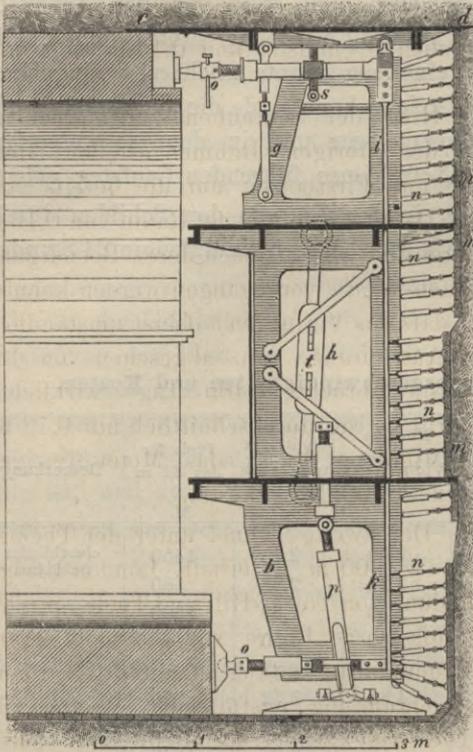
1. Brunel's Themse-Tunnel. Der bereits erwähnte erste Themse-Tunnel von Brunel, der zur Verbindung der Londoner Stadtteile Rotherhithe und Wapping dient, hat eine Länge von 460 m zwischen den Uferschächten. Die Tunnelfirste liegt 8 m unter Niedrigwasser und 4 m unter der Sohle der Themse, deren Untergrund aus Schlamm, Thon, Kalk und Kies besteht.

Der in Fig. 29, Taf. VIII dargestellte Querschnitt des Tunnels zeigt einen vier-eckigen Mauerklotz mit zwei nebeneinander liegenden Röhren von 4,8 m Höhe und 4,20 m Breite, die durch eiförmige Öffnungen in der Zwischenwand miteinander verbunden sind.

<sup>74)</sup> Für ein eingehendes Studium der vorbesprochenen Bauweise sei auf das ausgezeichnete Werk von Reynald Legouéz: De l'emploi du bouclier dans la construction des souterrains. Paris, Baudry & Cie., 1897 hingewiesen.

Der Bau begann am rechten Ufer mit dem Versenken eines Schachtes von 16 m lichter Weite bis auf die Sohle des anzulegenden Tunnels. In diesem Schachte wurde weiter ein kleiner Schacht von 8 m Durchmesser um 6 m tiefer gesenkt, der als sogenannter Sumpf diente. Alsdann wurde dem Gesamtquerschnitt des Tunnels entsprechend eine viereckige Fläche im Schachtmauerwerk ausgebrochen und in die entstandene Öffnung ein gleichfalls viereckiges Gerüst, der sogenannte „Brustschild“ eingebaut. Dieser Schild diente als vorläufiger Ausbau des freigelegten Tunnelraumes, unter dessen Schutze die Tunnelmauerung in kurzen Längen hergestellt werden konnte. Er war ein gufseisernes Gerüst von 12,1 m Breite und 7 m Höhe, aus 12 einzelnen, nebeneinander stehenden Rahmengestellen von je 1 m Breite und 7 m Höhe zusammengesetzt, die jedes für sich vorgeschoben werden konnten, vergl. Fig. 29, Taf. VIII. In nebenstehender Fig. 186 ist der Längenschnitt eines solchen Gestelles angegeben. Die einzelnen Rahmen ruhten auf der Schraube *p*, die in die Pfanne einer großen gufseisernen Platte eingriff, und waren außerdem oben und unten durch die Bolzen *o* gegen das fertige Mauerwerk abgestützt, um den Brustdruck aufnehmen zu können.

Fig. 186.



Die Firste und die Ulmen des abgebauten Raumes waren mit gufseisernen Pfählen *cd* dicht verzogen, die das fertige Mauerwerk 0,26 m weit übergreifend, von diesem und den Rahmengestellen gestützt wurden. Der Brustverzug bestand aus 0,2 bis 0,26 m breiten Bohlen von 1 m Länge, die je an ihren beiden Enden durch eiserne Bolzen *n* gegen die Säulen *ik* der Gestelle abgesteift waren.

Die Bolzen *n* sowohl als auch die Bolzen *o* waren mit einer Mutter mit rechts- und linksgehendem Gewinde versehen, mittels welcher dieselben nach Bedürfnis verkürzt oder verlängert werden konnten.

Der Bauvorgang gestaltete sich nun folgendermaßen: Nach Fertigstellung des letzten Mauerringes wurden behufs Herstellung einer neuen Baulänge von 0,16 m zunächst sämtliche First- und Ulmenpfähle nach Lüftung derselben durch die Schrauben *s* um 0,16 m in das Gebirge vorgetrieben; alsdann wurden die Bolzen *n* der obersten Zumachebretter über die ganze Tunnelbreite gelöst, die Bretter herausgenommen und das Gebirge hinter ihnen auf eine Tiefe von 0,16 m entfernt, die Bretter wieder angelegt und durch die Bolzen *n* aufs neue fest angepreßt, wobei die letzteren derartig gegen die Säulen *ik* der einzelnen Rahmengestelle abgestützt wurden, daß das 2., 4., 6. u. s. w. Rahmengestell frei blieb.

In gleicher Weise wurden alle übrigen Verzugbretter nacheinander von oben nach unten vorgebaut, bis die ganze Brustfläche um 0,16 m weit vorgetrieben war und nunmehr auch die Rahmengestelle um diese Länge vorgeschoben werden konnten, wo-

durch dann der Raum für die Herstellung eines neuen Mauerringes von 0,16 m Länge frei wurde.

Es wurden zunächst diejenigen Rahmengestelle vorgeschoben, welche bei der Abstützung der Brustbolzen  $n$  frei geblieben waren, also das 2., 4., 6. u. s. w. Zu diesem Zwecke wurden auch die Firstpfähle dieser Gestelle auf die Nachbargestelle abgestützt und diese Gestelle selbst mit Hilfe der Hängeeisen  $t$  an den letzteren aufgehängt, sodafs die Fufsplatten mittels der Schrauben  $p$  entlastet und 0,16 m weit vorgeschoben werden konnten.

Nunmehr wurden auch die Gestelle mit Hilfe der Schrauben  $o$  entsprechend vorgeschoben. In gleicher Weise wurde mit den übrigen Rahmengestellen, dem 1., 3., 5. u. s. w. verfahren, nachdem die Brust- und Firstbolzen auf die bereits vorgeschobenen Nachbarrahmen ausgewechselt waren. Damit war ein freier Raum von 0,16 m Länge geschaffen, in dem sofort die Mauerung hergestellt wurde, nach deren Beendigung wieder mit dem weiteren Abbau in der beschriebenen Weise vorgegangen werden konnte.

Aus vorstehender Beschreibung geht hervor, dafs das Verfahren äufserst umständlich und zeitraubend war. Es waren denn auch zur Ausführung, ganz abgesehen von den vielen (elfmaligen) Unterbrechungen durch Wassereinbrüche, 3465 Tage wirklicher Arbeitszeit erforderlich und der tägliche Baufortschritt betrug durchschnittlich nur 0,12 m.

Die Gesamtkosten beliefen sich auf 12 Millionen Mark; das Meter fertigen Tunnels hat demgemäfs die ungeheure Summe von 26200 M. gekostet.

**2. Der zweite, Barlow'sche Themse-Tunnel.** Der zweite Tunnel unter der Themse in London wurde im Jahre 1868/69 von Barlow 500 m unterhalb London-Bridge erbaut; er dient für den Personenverkehr zur Verbindung von Tower-Hill und Tooley-Street.

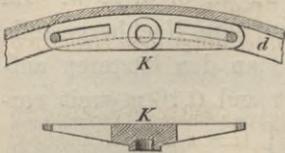
Der Querschnitt des Tunnels zeigt eine gufseiserne Röhre von 2,3 m äufserem Durchmesser und 22 mm Wandstärke. Die Gufröhre trug anfänglich unmittelbar auf der Sohle ein Gleis, worauf ein knapp den Lichtumfang ausfüllender Wagen für 14 Personen mittels Seilbetrieb bewegt wurde. Diesen Wagenbetrieb stellte man später ein und seitdem wird der Tunnel lediglich von Fußgängern benutzt.

Zwischen den senkrechten Einsteigeschächten, in denen anfangs Aufzüge, später Wendeltreppen den Verkehr vermittelten, beträgt die Länge 402,3 m.

Der Bau des in dichtem blauen Thon auszuführenden Tunnels erfolgte von beiden Uferschächten aus in sehr einfacher Weise, wie folgt: Die gufseiserne Röhre, welche die Wandung des Tunnels bildet, ist aus einzelnen Ringen von 0,45 m Länge zusammengesetzt, die jeder für sich wieder aus 4 Bogenplatten und zwar 3 größeren  $a$  (Fig. 5 u. 6, Taf. VII) und der kleineren Schlufsplatte  $b$  bestehen. Diese 22 mm starken Ringplatten sind an allen vier Seiten mit nach innen gerichteten Flanschen versehen, die zur Verschraubung derselben untereinander dienen. Zwischen den Flanschen ist eine Dichtung, teilweise aus Kiefernholz, zum Teil aus Werg und Cementgufs bestehend, eingebracht (s. Taf. VII, Fig. 7 u. 8). Die Lagerflanschen an dem Schlufsstück und die entsprechenden Flanschen der anschließenden Bogenplatten sind nicht wie die übrigen Lagerflanschen radial, sondern zu einander parallel gerichtet, damit das Schlufsstück von innen eingebaut werden konnte. Diese Röhre war am Kopfe (vor Ort) durch einen kreisrunden Brustschild  $d$  (Fig. 5 u. 6) abgeschlossen, der mit seinem aus Stahlblech bestehenden röhrenförmigen Mantel die Tunnelröhre in derselben Weise übergreift, wie ein Schachteldeckel die Schachtel. In der Mitte des Schildes befand sich eine Öffnung  $o$  (Fig. 5), durch welche Arbeiter vor den Schild gelangen konnten. — Es wurde nun vor diesem bis auf eine Länge von nur 2 bis 3 m ein Stollen von 1,8 m Höhe und

1 m Breite auf gewöhnliche bergmännische Art getrieben. Dieser Stollen wurde unmittelbar vor dem Schilde auf das volle Profil in einer Länge von 0,45 m erweitert und sofort der Schild mit seinem Mantel um diese Länge vorgerückt.

Fig. 187.



Dies geschah mit Hilfe der 6 am Umfange des Schildes angebrachten Schrauben *s*, die in die Pfannen *k* (Fig. 187) eingriffen, die an dem Flanschen des letzten Ringes befestigt wurden. Mit dem Vorrücken des Schildes war der erforderliche Raum gewonnen, um durch Einbau eines neuen Ringes die Tunnelröhre um 0,45 m zu verlängern.

Die Fugen wurden wie oben erwähnt gedichtet; ferner füllte man den vorher durch den Stahlring eingenommenen Raum zwischen dem Erdreich und der Röhre durch Cement aus, indem man diesen in flüssigem Zustande durch in der Wandung der Röhre befindliche Löcher einpresste.

In dieser höchst einfachen Weise wurde in einem Tage anfänglich ein Baufortschritt von 1,5 m erreicht, der sich schliesslich bis auf 2,75 m steigerte. Die Gesamtkosten betragen rund 800 M. für das Meter.

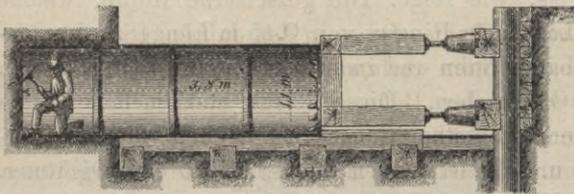
Wie bereits in der Vorbemerkung (§ 81) bemerkt, ist dieser Bauvorgang als Vorbild für eine gröfsere Anzahl später in mildem Gebirge ausgeführten Tunnelbauten anzusehen, wenn auch die einzelnen bei diesen benutzten Schilde in ihrer besonderen Bauart von dem einfachen Barlow'schen Schilde und auch untereinander abweichen und einige unter ihnen bei sehr starkem Wasserzudrang selbst für die Verwendung von Prefsluft eingerichtet werden mußten. Von den in § 81, S. 226 aufgeführten Tunneln soll der Bau einiger als Beispiele näher besprochen werden.

Vorweg mag aber noch der vom Ingenieur v. Ruppert durchgeführte Bau eines Wasserleitungsrohres Erwähnung finden, bei dem zwar ein Schild nicht angewendet worden ist, der aber doch in grundsätzlichem Sinne der Barlow'schen Vortriebsweise sehr nahe kommt und Beachtung verdient.

### 3. Der Einbau des Wasserleitungsrohres unter dem Wien-Neustädter Schiffahrtskanal.

Das gufseiserne Leitungsrohr (Fig. 188) mit einer lichten Höhe von 1,1 m, einer Weite von 0,9 m und einer Wandstärke von 15 mm, das unter dem Kanal auf eine Länge

Fig. 188.



von 27 m einzubauen war, bestand aus sieben einzelnen mit Flanschen zu verschraubenden Rohrstücken. Das erste dieser Rohrstücke, das vorn eine Schneide erhalten hatte, wurde nun mittels dreier Schrauben von einer am Ufer ausgehobenen Baugrube aus

in das lehmige Gebirge hineingepresst; der Boden wurde im Rohre ausgebrochen und dem Ausbruch entsprechend das Rohr nachgepresst, bis das zweite Rohr angesetzt werden konnte u. s. w.

Die Kosten dieses Leitungsrohres beliefen sich im ganzen für 1 m Länge auf rund 320 M.

4. Tunnel unter dem Broadway in New-York (1870). Die nächste Wiederholung und gleichzeitig eine weitere Ausbildung erfuhr die Barlow'sche Schildbauweise beim Bau eines kurzen, 2,44 m weiten Tunnels für eine für Prefsluftbetrieb bestimmte Bahn unter dem Broadway bei der Warrenstreet in New-York durch Beach im Jahre 1870.

Das Gebirge bestand aus losem sandigen Boden, der eine dauernde Abstützung der Tunnelbrust während des Baues erforderlich machte. Dies wurde durch eine sehr sinnreiche, einfache Anordnung des von Beach verwendeten Brustschildes erreicht. Dieser, in Fig. 189 im Längenschnitt dargestellt, bildet in seinem mittleren Teil eine hölzerne Trommel, an die vorn ein eiserner, mit eiserner Schneide versehener Ring angeschult war, während an ihrem hinteren Ende ein eiserner Flachring bündig aufgesetzt war, der den aus einem Ziegelgewölbe gebildeten fertigen Tunnel umschloß. Auf den hinteren Hirnflächen der Holztrommel war ein starker Holzring befestigt, gegen den 8 Pressen angesetzt waren, die ihren Stützpunkt auf einem starken Ringe fanden, der an das fertige Mauerwerk angelegt wurde. Das Eigenartige dieses Beach'schen Schildes besteht nun darin, dafs der vordere eiserne Schneiderring gefachartig mit 8 wagerecht in ihm eingebauten, durch mehrere senkrechte Wände gestützten Böden versehen ist, von denen das Gebirge bei Eindringen des Schildes getragen wird, indem es auf ihnen mit Böschung lagert. Haben diese Böden eine dem natürlichen Böschungswinkel des Gebirges entsprechende Breite, so wird durch sie die Brust in sehr einfacher und sicherer Weise abgestützt, so lange das Gebirge nicht durch starken Wasserzudrang in den Tunnelraum eingespült wird.

Mit dem Beach'schen Schilde wurde in den Jahren 1871 und 1872 noch ein Tunnel unter einer Strafe von Cincinnati und ein Wasserleitungsrohr unter dem Eriesee bei Cleveland hergestellt.

**5. Der Tunnel der City- und Süd-London-Bahn.** Diese in den Jahren 1886 bis 1890 von Greathead als Untergrundbahn erbaute Bahn verbindet die City mit den südlichen Stadtteilen von London. Die beiden Gleise der Bahn, die für elektrischen Betrieb eingerichtet ist, sind in getrennten, neben- oder übereinanderliegenden, eisernen Tunnelröhren von kreisförmigem Querschnitt und meist 3,11 m lichter Weite untergebracht. Die Bahn, die sich durchschnittlich 22 m unter der Strafe befindet, hat eine Länge von 5 km mit 5 Stationen und liegt fast durchweg im Thon, nur auf einige kurze Strecken waren wasserführende Kiesschichten zu durchbrechen, wobei sich die Anwendung von Prefsluft nötig machte, die im übrigen entbehrt werden konnte.

Der Tunnelvortrieb erfolgte mit Hilfe eines 1,80 m langen von Greathead gebauten Schildes von einfacher Form (siehe Fig. 190 bis 192). Ein im Innern des Schildes angebrachter ringförmiger Gußkörper *a*, an dem einige senkrechte und wagerechte Walzeisen *b* befestigt waren, trennte den eigentlichen, nur 0,31 m breiten, also recht schmalen Arbeitsraum von dem Schildinnern. Bei Wasserandrang wurden die zwischen den Stäben verbleibenden Felder mit Brettern zugesetzt, und es gestaltete

Fig. 189.

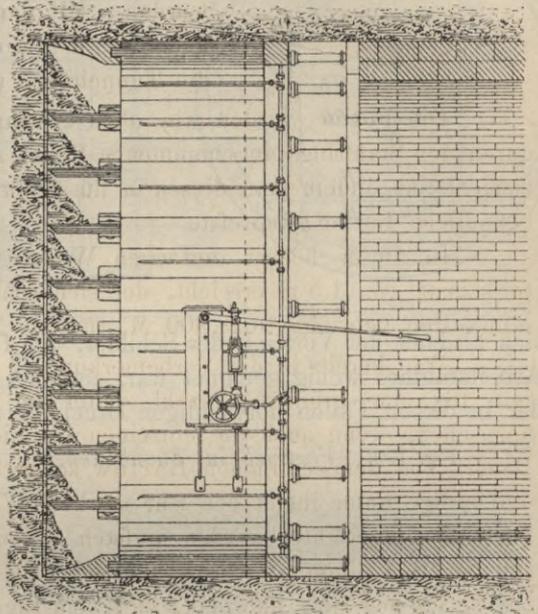
*Brustschild für den Tunnel unter dem Broadway.*

Fig. 190 bis 192. Schild vom Tunnel der City- und Süd-London-Bahn.

Fig. 190.

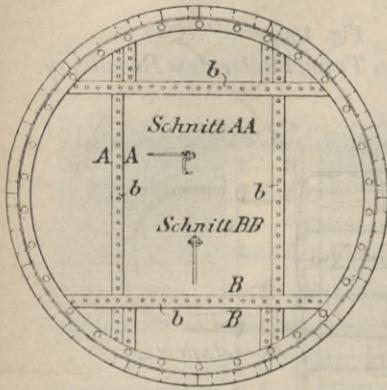


Fig. 191.

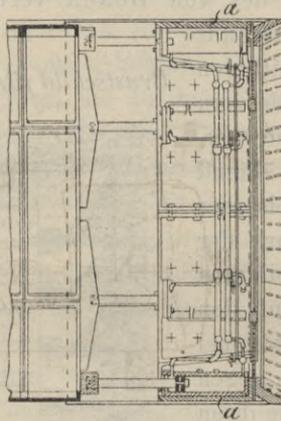
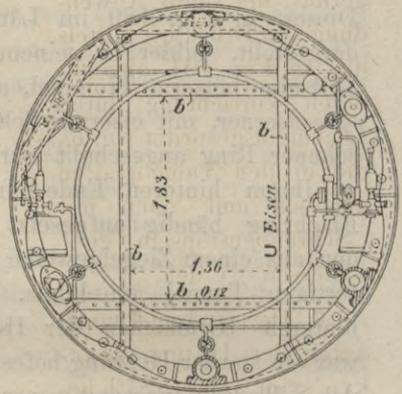
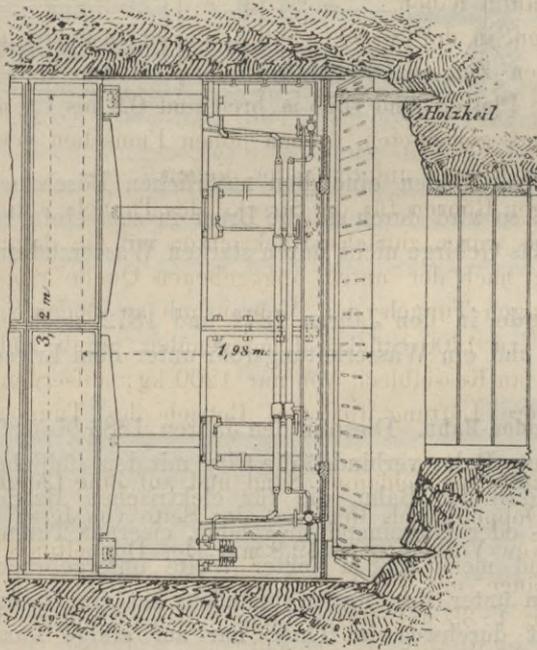


Fig. 192.



sich alsdann der Vortrieb des Schildes, der für solche Verhältnisse wegen des schmalen Arbeitsraumes wenig geeignet war, ziemlich schwierig. Um ein zu starkes Entweichen der in diesen Fällen notwendigen Druckluft zu verhindern, wurde rings um den Schildrand Kalkbrei in das Gebirge geblasen, was sich recht gut bewährt hat.

Fig. 193. Vortrieb in Thonboden.



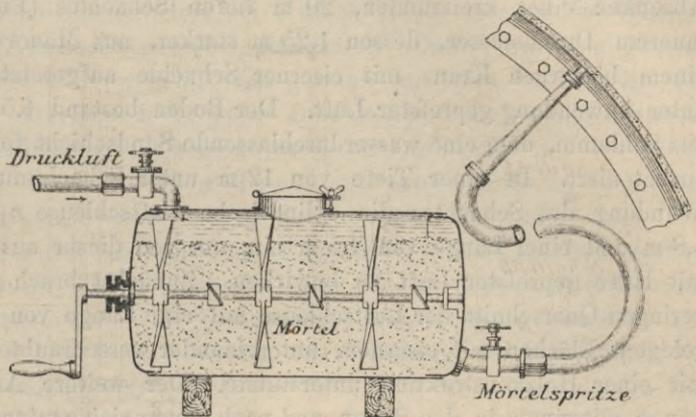
Im Thonboden dagegen konnte nicht nur bei offener Brust gearbeitet werden, es war sogar möglich, den Boden vor dem vorderen Schildrand 0,5 bis 1 m, unter Umständen sogar bis 2,5 m bergmännisch in einfachster Weise abzubauen (Fig. 193), sodass der Schild beim Vortrieb nur noch die äußere Erdhülle abzuschälen hatte. Es wurde hierbei ein täglicher Fortschritt von im Durchschnitt 3,5 m erzielt.

Der Vortrieb des Schildes geschah mit Hilfe von 6 Druckwasserpressen von zusammen 90 t Druckkraft, die an dem oben erwähnten ringförmigen Gufskörper angriffen und zwar, entsprechend der Breite der einzelnen Tunnelringe, auf eine jedesmalige Länge von 0,51 m.

Die Tunnelringe, aus 25 mm starken gulseisernen Platten bestehend, waren aus je 6 Bogenstücken und einem Schlufsstück, die ringsum mit Flanschen versehen waren und miteinander verschränkt wurden, zusammengesetzt. Die Länge der einzelnen Bogenstücke betrug 1,60 m, das obere Schlufsstück, mit parallelen Flanschen versehen, hatte eine Länge von 0,23 m.

Der sich bei dem Vorschub des, mit seinem hinteren Ende auf dem bereits fertigen Tunnel gleitenden, Schildmantels, rings um die eingebaute Tunnelwandung

bildende Hohlraum wurde mit dünnem Mörtel ausgefüllt, der unter Anwendung von Druckluft mittels der in Fig. 194 abgebildeten Vorrichtung durch Löcher ausgespritzt wurde, die in den Tunnelplatten gelassen und dann mit Schraubenstöpseln geschlossen wurden.

Fig. 194. *Mörtelspritze*.

6. Der **Hudson-Tunnel**, unter der Leitung Has-

kin's im Jahre 1879 begonnen, soll zur Herstellung einer Eisenbahnverbindung zwischen New-York und Jersey-City dienen. Seine Gesamtlänge beträgt 3597 m, der unter Wasser liegende Teil mit 1647 m Länge wird aus zwei dicht nebeneinanderliegenden elliptischen Röhren von 4,88 m Weite und 5,49 m lichter Höhe (Fig. 14, Taf. VII), die je ein Gleis aufnehmen, gebildet, während die Zufahrt-Tunnelstrecken von 1036 und 914 m Länge einen zweigleisigen Querschnitt mit 7,5 m Weite erhalten haben.

Die Ausmauerung der beiden Röhren in der Strecke unter Wasser besteht aus 0,6 m starkem Gewölbe von hartgebrannten Ziegeln, das aufsen durch 9 mm dicke, gebogene Stahlplatten verkleidet ist. Diese Platten sind 0,75 m breit und 0,9 bis 1,9 m lang; sie sind an den Seiten mit nach innen gerichteten, 65 mm hohen Flanschen versehen, die zur Verschraubung der einzelnen Platten untereinander dienen.

Für die Anordnung zweier eingleisigen Röhren für die Strecke des Tunnels unter Wasser an Stelle eines zweigleisigen Tunnels waren zunächst Rücksichten auf die damit erhoffte Ersparung an Kosten maßgebend; nach der unten angegebenen Quelle<sup>75)</sup> berechnet sich für ein Meter des zweigleisigen Tunnels der Mehraushub an Boden zu 5,1 cbm, der größere Bedarf an Ziegeln zu 1700 Stück; demgegenüber ergab sich für zwei eingleisige Tunnel ein Mehrbedarf an Kesselblech von nur 1200 kg; außerdem soll durch diese Anordnung eine günstigere Lüftung für den Betrieb des Tunnels erzielt werden.

Der Untergrund des Flussbettes besteht aus Schlamm, Sand und auf eine Länge von 120 m aus Felsen. Der Scheitel des Doppeltunnels liegt auf der Seite von Jersey-City 13,7 m unter Mittelwasser, auf der New-Yorker Seite 19,8 m. Der Doppeltunnel fällt vom Jerseyer Ufer ab auf 730 m Länge mit 1:50, auf 570 m mit 1:200 und steigt dann nach dem anderen Ufer zu mit 1:33 auf 400 m Länge. Die Mächtigkeit der Tunnel-Überlagerung beträgt an keiner Stelle weniger als 6 m.

Der Bau des Hudson-Tunnels mußte mehrere Male unterbrochen werden und ist bis heute noch nicht vollendet. Während des ersten Bauabschnittes bis zum Jahre 1882 ging man ohne Brustschild vor, doch nötigte der starke Wasserzudrang zur Zuhilfenahme von Prefsluft, die hier zum erstenmale beim Tunnelbau angewandt worden ist. Es soll auch dieser erste Bauabschnitt seiner Eigenartigkeit wegen und zur Ergänzung der Baubeschreibung hier erläutert werden, obgleich er streng genommen nicht hierher gehört.

<sup>75)</sup> Ann. des ponts et chaussées 1885, II. S. 220.

a) Erster Bauabschnitt.  $\alpha$ . Seite von Jersey. Der Bau begann hier mit dem Absenken eines kreisrunden, 20 m tiefen Schachtes (Fig. 11, Taf. VII) von 9,15 m innerem Durchmesser, dessen 1,25 m starker, aus Mauerwerk bestehender Mantel auf einem hölzernen Kranz mit eiserner Schneide aufgesetzt war. Das Senken geschah unter Anwendung geprefster Luft. Der Boden bestand 1,5 m tief aus Schutt, dann 15 m aus Schlamm, dem eine wasserdurchlassende Sandschicht folgte. Die Schachtsohle wurde ausbetoniert. In einer Tiefe von 12 m unter Schachtmund baute man dann in der Wandung des Schachtes die cylindrische Luftschleuse  $c$  mit einem Durchmesser von 1,8 m und einer Länge von 4,5 m ein, um von dieser aus die Ausführung des Tunnels mit Hilfe geprefster Luft zu bewirken. Zunächst brach man in den Tunnel mit dem geringen Querschnitt der Luftschleuse auf eine Länge von 1 m ein, wobei man die freigelegten Flächen mit eisernen, untereinander verschraubten Platten verkleidete und sie mit einer Holzkonstruktion unterstützte. Der weitere Ausbruch geschah auf gleiche Länge mit einem in den Seiten und nach unten sich stufenartig erweiternden Querschnitt in derselben Weise, bis die Größe des den Doppeltunnel umfassenden Querschnittes (bei  $e$ ) erreicht war. Von hier aus begann nun die Herstellung der beiden Tunnelröhren, je in vollem Querschnitt in derselben Vorgangsweise, nur mit dem Unterschiede, daß man hier nach genügender Aufschlußlänge den hölzernen Ausbau durch das Gewölbemauerwerk ersetzte, während man den stufenförmig hergestellten Zugang  $d$  im Holzausbau stehen liefs. Diese auffallende Unbedachtsamkeit führte zu einem großen Unglück. Als nämlich die beiden Tunnelröhren bereits bis auf eine Länge von 80 m vorgeschritten waren, erfolgte nach wiederholt sich zeigenden größeren Undichtigkeiten in dem hölzernen Einbau  $d$ , welche die geprefste Luft entweichen und Wasser einströmen liefsen, am 21. Juni 1880 der Einsturz desselben, wobei von den in dem Tunnel beschäftigten 28 Arbeitern 20 umkamen.

Man entschlofs sich nun, an der Einbruchsstelle, also unmittelbar neben dem Schachte  $a$ , einen Senkkasten, wie solche bei Fundierungen von Brückenpilen Verwendung finden, bis auf die Tunnelsohle zu versenken. Dieser Senkkasten  $s$  (Fig. 14) wurde aus Holz hergestellt und erhielt im Innern die Form und Größe des Tunnelgewölbes an der Stelle, wo die beiden Röhrentunnel in einen gemeinschaftlichen Raum eintreten, der allmählich in den zweigleisigen Zufahrtstunnel übergeht. Die mit Hilfe geprefster Luft vorgenommene Senkarbeit ging ohne Störung von statten. Sofort nach geschehenem Aushub der Tunnelsohle wurde in diesem Kasten das Tunnelmauerwerk aufgeführt und dieses nach dem Schacht zu durch eine senkrechte massive Wand  $w$  (Fig. 12) abgeschlossen, in der im Anschluß an die frühere Schleusenkammer eine Verlängerung der letzteren zur Herstellung der Verbindung mit dem Schachte eingebaut wurde. Nach erfolgter Durchführung der beiden bereits vorhandenen massiven Tunnelgewölberinge durch die Wand des Senkkastens wurde auch diese Seite der neu gebildeten Kammer durch eine massive Querwand  $k$  sicher abgesperrt. In dieser Kammer wurden noch die zu Tage führende Schlammpumpe  $p$ , sowie die beiden Luftschleusen  $m$  und  $n$  eingebaut, von denen die Schleuse  $m$  zur größeren Sicherheit als zweiter Weg zum Ein- und Ausfahren der Arbeiter, die andere zum Einschleusen der Baumaterialien diente.

Es konnten nunmehr die Arbeiten zum Vortriebe der beiden Tunnelröhren wieder aufgenommen werden. Dies geschah nach den gemachten bösen Erfahrungen in vorsichtigerer und sachgemäfserer Weise als anfänglich. Zunächst wurde in jeder Tunnelröhre deren ganzer lichter Querschnitt nahe der Arbeitsstelle mit einer Quermauer  $o$  (Fig. 13), in der zwei cylindrische Luftschleusen eingesetzt waren, luftdicht abgebaut.

Die eine Schleuse war für den Transport des Baumaterials und der gelösten Massen, die andere lediglich zur Aufnahme der Arbeiter bei etwa plötzlich eintretendem Wasserbruch und zum Ein- und Ausfahren derselben bestimmt. Damit wurde nicht nur die Sicherheit der Arbeiter wesentlich erhöht, man gewann auch die Möglichkeit, die Höhe des Luftdruckes an der Arbeitsstelle in jeder Tunnelröhre dem jeweiligen Stande der Arbeit entsprechend einzurichten. Außerdem wurde dadurch auch der Verbrauch an gepresster Luft verringert, da der gröfsere Druck auf einen kleineren Raum beschränkt wurde. Letztere Wirkung wurde noch dadurch erhöht, dafs man einen Teil der gewonnenen Bodenmassen nicht aus dem Tunnel herausbeförderte, sondern in dem fertigen Tunnel bis zur halben Profilhöhe ablagerte. Der Einbau dieser mit Schleuskammern versehenen Querwände, der beim Vorschreiten des Baues in gewissen Abständen wiederholt wurde, gewährte ferner den für die Erhaltung der Gesundheit der Arbeiter nicht zu unterschätzenden Vorteil, dafs sie beim Ein- und Ausschleusen mit allmählich wachsendem Druck in den Raum gröfster Luftpressung gelangten und umgekehrt diesen mit allmählich abnehmendem Druck verliessen.

Auch bei den Abbauarbeiten wendete man für die Folge gröfsere Vorsicht an. Es wurde der Ortstofs nicht mehr von vornherein in vollem Querschnitt vorgetrieben, vielmehr ging dem Vollausbruche die Herstellung eines Richtstollens *v* (Fig. 13, *pilot tunnel*) voraus. Dieser befand sich etwas über der Mitte des Profils. Er erhielt einen kreisrunden Querschnitt von 2 m Durchmesser und eine Länge von 12 m. Seine Wandung wurde aus mit Flanschen versehenen und untereinander verschraubten eisernen Platten gebildet. Vor Ort konnte dieser Stollen mittels eines eisernen Brustschildes wasserdicht abgeschlossen werden.

In einer Entfernung von 5 bis 6 m hinter dem Ortstofs dieses Stollens folgte nun der Vollausbruch, in der Firste beginnend, stufenförmig. Die dabei freigelegten Profilflächen wurden wie früher mit Eisenplatten belegt und diese gegen den eisernen Stollen mittels radial gestellter Streben gut abgestützt. In dem fertig abgebauten und abgestützten Profil wurde sofort die Mauerung aufgeführt; die durch Vollendung der Ausmauerung frei werdende Länge des eisernen Stollens wurde abgebrochen und beim Vortreiben des Stollens vorn wieder eingebaut.

β. Seite von New-York. Auf der New-Yorker Seite, wo mit dem Bau erst im Jahre 1882 begonnen wurde, konnte man für den Arbeitsplan die inzwischen bereits gemachten Erfahrungen sich zu nutze machen. Es wurde denn auch hier in sachgemäfsere Weise als auf der Jerseyer Seite vorgegangen. Der ganz zwecklose Bau des massiven Schachtes *a* jener Seite wurde hier erspart. Man schritt sofort zum Versenken des viereckigen Senkkastens *k* (Fig. 17 u. 22), der in gleicher Gröfse und in derselben Weise aus Holzzimmerung hergestellt war, wie der nachträglich auf der Seite von Jersey versenkte Kasten *s*. In dem bis zu Tage reichenden, schachtartigen hölzernen Aufbau dieses Senkkastens wurden bis in den letzteren hineinreichend zwei Luftschleusen für die Arbeiter und eine für den Materialtransport, ferner eine Schlammpumpe eingebaut. Die Senkarbeit wurde durch das Vorhandensein eines festen Sandlagers sehr erschwert, das dem Eindringen des Senkkastens grofsen Widerstand entgegengesetzte, und zu dessen Überwindung eine Belastung des Kastens von 2000 t nötig war.

Bei dem Vortriebe der beiden Röhrentunnel von diesem Senkkasten aus stellte sich ein anderes Verfahren, als oben für die Jerseyer Seite beschrieben, als zweckmäfsig heraus. Es wurde hier von dem Vortreiben eines eisernen Stollens Abstand genommen. Der zu durchhörternde Sand liefs die Prefsluft entweichen und es mufste,

um dies zu verhindern, aufer dem Profilmfange auch die Brust mit einem Belage aus eisernen Platten versehen werden. Zu diesem Zwecke wurde der ganze Tunnelquerschnitt in einer Zonenlänge von 3 m mit senkrechter Brust von oben nach unten abgebaut und dem Abbau sofort folgend die Brust in wagerechten Streifen mit eisernen Platten von 0,4 m Höhe und 1,2 m Länge bedeckt; die Platten wurden untereinander an den nach innen gerichteten Flanschen verschraubt. Gleichzeitig wurde der Eisenpanzer dem Fortschreiten des Profilabbaues entsprechend mit einer soliden Verzimderung (Fig. 18 bis 21) versehen und der Luftdruck mit dem Vorrücken nach unten vermehrt. In dem fertig abgebauten Querschnitt wurde sofort mit der Ausführung der Mauerung begonnen, und gleichzeitig mit dem Abbau einer neuen 3 m langen Zone in gleicher Weise wie vorher vorgegangen. Der Abbau des fertigen Tunnels durch eine mit zwei Luftschleusen versehene Quermauer, sowie das teilweise Verfüllen des fertigen Tunnels mit einem Teile der gewonnenen Ausbruchsmasse geschah auch hier zu gleichem Zwecke wie auf der Jerseyer Seite.

Auf beiden Ufern wurde das in die Tunnelstrecken zu schaffende Baumaterial zunächst durch die in die Kammern *s* (Fig. 12, Taf. VII) und *K* (Fig. 22) zu diesem Zwecke eingebaute Luftschleusen in diese Kammern befördert und von hier bis zur Verwendungsstelle auf einer Schmalspurbahn weiter geschafft. Die gewonnenen Ausbruchsmassen wurden, soweit sie nicht in dem fertigen Tunnel abgelagert wurden, ebenfalls auf dieser Schmalspurbahn bis in die Kammern *s* und *K* befördert, hier durch Wasser verdünnt und mittels der Schlammpumpe in einer Rohrleitung zu Tage gefördert. Die Konstruktion dieser Wasserstrahlpumpe ist aus Fig. 24 ersichtlich.

Das unter großem Druck stehende Betriebswasser wird durch das Rohr *r* dem glockenförmigen Raume *g* der Pumpe zugeführt, aus dem es in dem Steigrohre *h* in die Höhe getrieben wird. Dabei durchläuft das Wasser die durch den Ring *b* am Anfang des Steigrohres gebildete Querschnittsverengung, wodurch die im Saugrohr *f* vorhandene und unter dem Drucke der im Tunnelraume befindlichen Prefsluft stehende Schlammmasse angesaugt und mit dem Druckwasser im Steigrohre aufwärts gefördert wird.

Der Baufortschritt betrug auf der Seite von Jersey täglich durchschnittlich 1 m und die Kosten beliefen sich hier für ein Meter fertigen eingeleisigen Tunnel annähernd auf 4000 M. Auf der New-Yorker Seite erzielte man einen durchschnittlichen Monatsfortschritt von nur 5 bis 6 m und es kostete hier ein Meter eingeleisiger Tunnel 6400 M.

Im November 1882, nachdem die Tunnelbau-Gesellschaft bereits 6 Millionen Mark ausgegeben hatte, waren die Mittel derselben erschöpft und die Arbeiten mußten eingestellt werden. Damals waren auf der Jerseyer Seite erst 180 m des südlichen und 560 m des nördlichen Tunnels fertiggestellt. Auf der New-Yorker Seite war der Südtunnel kaum begonnen, der Nordtunnel 150 m vorgetrieben.

Erst im Jahre 1889 konnten die Arbeiten mit englischem Kapital unter Leitung der bekannten Ingenieure Sir John Fowler und Benjamin Baker wieder aufgenommen werden, kamen jedoch 1892 wiederum wegen Geldschwierigkeiten ins Stocken. Damals waren von der Unterwasserstrecke noch 50 m, auferdem noch die unfertigen Rampen herzustellen.

b) Zweiter Bauabschnitt. Nach Wiederaufnahme der Arbeiten im Jahre 1889 änderte man die Bauweise zunächst dahin ab, daß man von der Einwölbung des Tunnelprofils gänzlich Abstand nahm und diese durch eine Auskleidung mit Gußeisenplatten ersetzte; gleichzeitig hiermit wurde der weitere Vortrieb vor Ort mit Zuhilfenahme großer Schilde vorgenommen.

Fig. 195 bis 197. Schild vom Hudson-Tunnel.

Fig. 195.

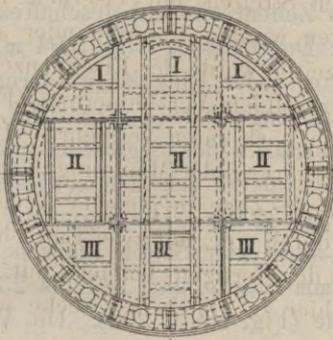


Fig. 196.

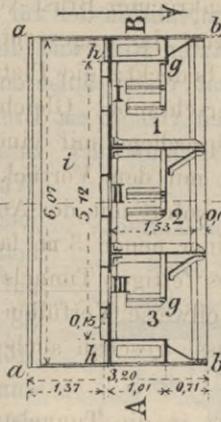
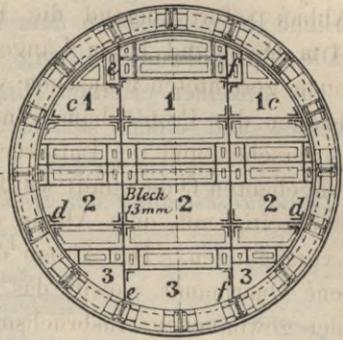


Fig. 197. Schnitt A B.



α. Der Schildvortrieb am Hudson-Tunnel. Der ursprünglich für die Ausführung geplante Schild ist in Fig. 195 bis 197 dargestellt. Seine Länge beträgt 3,2 m, der äußere Durchmesser 6,07 m. Der Schildmantel war aus zwei übereinanderliegenden Gussstahlblechen von je 16 mm Stärke gefertigt und kreisförmig. In dem von dem Mantel gebildeten Ring sind durch Einbauen von zwei senkrechten und zwei wagerechten Schneidewänden *cc*, *dd*, *ee* und *ff* (Fig. 197) neun Zellen geschaffen, die nach hinten zu durch eine Blechwand *hh* begrenzt werden (Fig. 196). Ein Meter vor dieser Blechwand und 70 cm hinter der Schneide ist in jede Zelle eine Schürze *g* eingebaut, die nur den unteren Zellenraum gegen den Ort hin offen läßt. Diese Öffnungen sind in Fig. 196 u. 197 mit 1 bis 3 bezeichnet. In der Rückwand der Zellen befinden sich entsprechende Öffnungen I bis III (s. Fig. 195), die jedoch so hoch liegen, daß sie von vorn gesehen von den zugehörigen Schürzen gedeckt werden. Wenn also von Ort andringender flüssiger Boden die Unterkante einer dieser Öffnungen erreicht hat, so taucht die davor befindliche Schürze auch in den Boden ein und es bildet sich so eine Art Wasserverschluss. Die Öffnungen sind selbstverständlich verschließbar und werden bei Vorhandensein flüssigen Bodens nur und zwar nacheinander geöffnet, um die Bodenmassen in den inneren Arbeitsraum zu schaffen. Es leuchtet ohne weiteres ein, daß, sobald der letztere unter Prefsluft von einer dem auftretenden Aufsendrucke der flüssigen Bodenmassen entsprechenden Spannung gesetzt wird, das Öffnen der Arbeitsthüren gefahrlos erfolgen kann. Bei besonders schlammigem Boden werden sämtliche Arbeitsthüren dicht geschlossen und es erfolgt die Entfernung des Bodens in den Zellen durch Sandpumpen. Um sich etwa vorfindende größere Steine oder Felsen abbohren zu können, sind rings am Umfang des Schildes und unter den wagerechten Scheidewänden 36 Rohre (aus den Abbildungen nicht ersichtlich) angebracht, durch die Bohrer gesteckt werden können.

Um den Schild vorwärts in das Gebirge zu treiben, ist er an seinem Umfang mit 16 Wasserdruckpressen versehen, die an dem Schild fest angebracht sind und sich mit ihrem beweglichen Druckstempel gegen den letzten fertigen Tunnelring stützen. Diese Pressen haben eine Länge von 1,01 m, einen inneren Durchmesser von 20 cm und eine Wirkungskraft von je 100 t. Durch ungleiches Ansetzen der Pressen war man in der Lage, erforderlichenfalls Richtungsänderungen des Tunnels vornehmen zu können.

β. Das Einbauen der Tunnelauskleidung in dem sie futteralartig umfassenden Schildmantel erfolgte, nachdem durch die Pressen der Schild um mindestens eine Tunnelringbreite (46 cm) in das Gebirge vorgedrückt und die Wasserdruckstempel in die Prefscylinder zurückgezogen waren, mithin der für das Einbauen eines neuen Ringes erforderliche Raum zwischen dem letzten Ring und der Zellenrückwand geschaffen war.

Die Tunnelauskleidung hat einen äußeren Durchmesser von 5,94 m. Sie besteht aus einzelnen eisernen Ringen von 46 cm Breite; jeder Ring ist wiederum aus 9 Segmenten und einem schmalen Schlufsstück zusammengesetzt (s. Fig. 198). Die

Wandstärke der Segmente, die sich jedoch als zu schwach erwiesen hat, beträgt 32 mm. Die Segmente haben auf allen vier Seiten Flanschen von 38 mm Stärke und 180 bis 230 mm Höhe (Fig. 199 u. 200). Die Verbindung der einzelnen Segmente untereinander erfolgte mittels dieser Flanschen durch Schraubenbolzen von 32 mm Stärke. Die Gewichte der Segmente sind folgende: für die fünf untersten je 533 kg, die darüber folgenden je 406 und 381 kg, das Schlufsstück 116 kg. Das Gesamtgewicht eines Ringes beträgt hiernach 4359 kg.

Fig. 198 bis 200.

Die Tunnelauskleidung am Hudson-Tunnel.

Fig. 198.

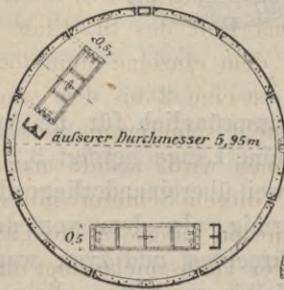


Fig. 199.

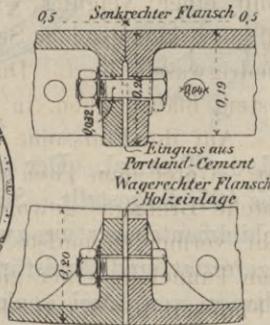
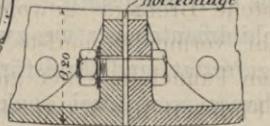


Fig. 200.



7. Die Dichtung der Flanschen erfolgte an den wagerechten Stößen durch Einlegen eines Futterbrettchens von hartem und mit Kreosot getränktem Holz, an den senkrechten Stößen jedoch wurde in die Fugen eine Dichtung mit Hanfstrick und eingegossenem Portlandcement eingebracht.

Fig. 201 bis 203. Druckwasserkran zum Versetzen der Auskleidungsplatten.

Fig. 201.

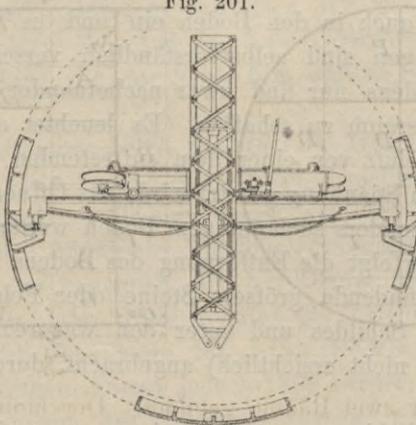


Fig. 202.

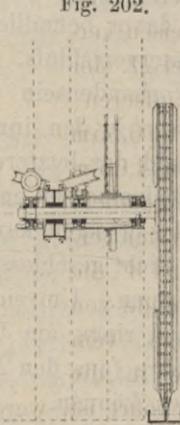
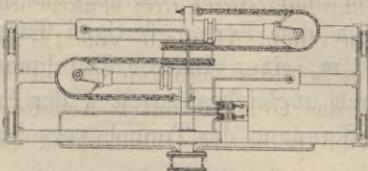


Fig. 203.



8. Das Versetzen der Platten geschah mittels eines Druckwasser-Kranes (Fig. 201 bis 203), der auf in mittlerer Höhe des Tunnels angebrachten Schienen lief. Durch Zusammenwirken dreier Wasserdruckpressen konnte ein schwingender Kranarm in jede beliebige Lage gebracht, auch verlängert und verkürzt werden, sodafs eine an seinem Ende befestigte Segmentplatte überall hingebacht werden konnte.

7. Der St. Clair-Tunnel (1884 bis 1890). Der Eisenbahntunnel unter dem St. Clair-Flusse am Süden des Huronsees bietet mit seinem grofsen kreisrunden Querschnitt, dessen Durchmesser 6,4 m beträgt, ein für die Schildbauweise bemerkenswertes Beispiel. Der Tunnel hat zwischen den Portalen eine Länge von 1830 m, an die sich auf beiden Seiten offene Einschnitte mit 760 und 945 m Länge anschliessen. Unter dem Flusse liegt der Tunnel auf 520 m Länge in einer nach der kanadischen Seite hin fallenden Neigung von 1‰; die Rampen sind mit einer Neigung von 20‰ angelegt. Das Tage- und Sickerwasser wird einem auf der kanadischen Seite hergestellten Schacht zugeführt, dessen Sohle 30,5 m unter Niedrigwasser liegt. Das Bett des St. Clair ist in eine etwa 30 m starke Schicht von festem blauen Thon, in dem einzelne Steinblöcke eingelagert sind, 20 m tief eingeschnitten. Auf der Flusssohle ist eine 2 bis 4 m starke Schicht von Schlamm und Sand abgelagert. Unter dem Thon steht schieferiger Fels an, aus dem in der Nachbarschaft der Baustelle Brenngas gewonnen wird, sodafs man es schon mit Rücksicht auf Explosionsgefahr vermeiden mußte, diesen Schiefer mit der Tunnelröhre anzuschneiden. Man legte den Tunnel in seiner ganzen Länge in die Thonschicht und zwar derart, dafs unter dem Flussbett die Stärke der Thonschicht über dem Tunnelrohr sowohl, als auch unter ihm eine mittlere Stärke von etwa 4 m betragen sollte; auf einzelnen Stellen verminderte sich diese Stärke oben auf nur 2½ und unten auf 3 m.

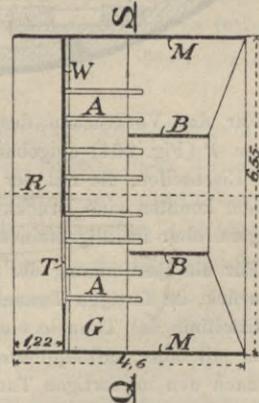
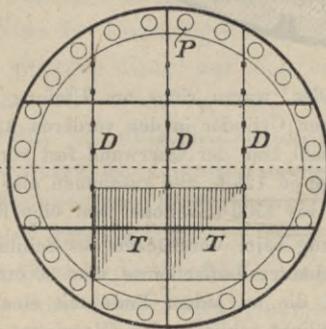
Der von dem bauleitenden Ingenieur Hobson für den Tunnelvortrieb angegebene Schild ist in den Fig. 204 u. 205 in einfachen Linien in Ansicht und Längenschnitt dargestellt. Er besteht

aus einem kreisrunden, aus Stahlblechen zusammengenieteten und durch Winkeleisen verstärkten Mantel *M*, der bei einem äufseren Durchmesser von 6,55 m eine Länge von 4,65 m hat. Durch eine dicht schließende, in sich versteifte Querwand *W*, die in einem Abstände von 1,22 m Länge vom hinteren Ende in die

Fig. 204 u. 205. *Tunnelschild des St. Clair-Tunnels.*

Fig. 204. *Querschnitt QS.*

Fig. 205. *Längenschnitt.*



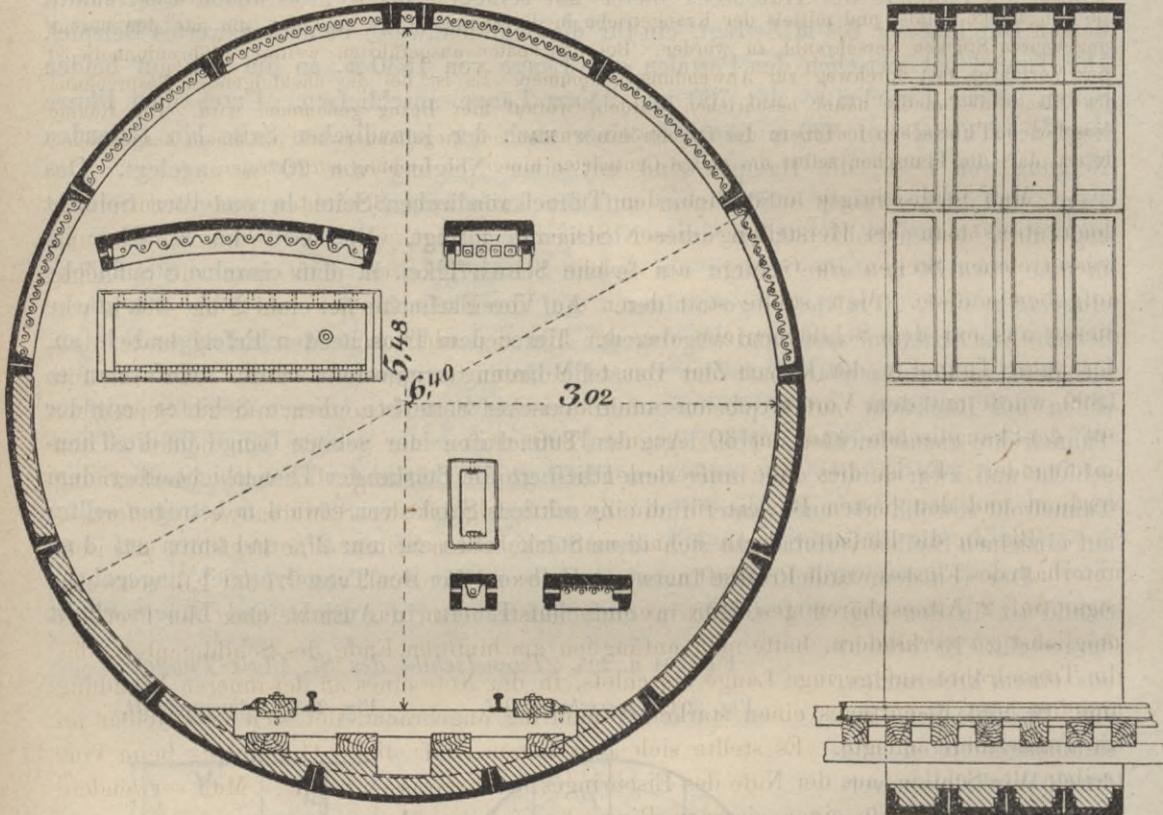
Trommel eingebohrt ist, werden in dieser zwei Räume gebildet. Der hintere Raum *R*, in dem der Aufbau der eisernen Tunnelauskleidung erfolgt, ist frei, während der vordere, der eigentliche Arbeitsraum vor Ort, der Länge nach durch drei senkrechte Blechwände *D* und zwei wagerechte Blechwände *B*, die in einem Abstände von 1,5 m von der Querwand *W* beginnend bis vor die Schneide des Schildes heranreichen, in 12 Gefache oder Arbeitszellen geteilt ist. In diesen wurde das Gebirge durch Arbeiter gelöst und in den Raum *G* geworfen, um von hier aus durch die verschließbaren Thüröffnungen *T*

in kleine Förderwagen geladen und in den fertigen Tunnel und weiter durch die dort eingebauten Luftschleusen bis zu Tage gefördert zu werden. Die Wände *D* dienen noch zur Verankerung der Querwand *W* mit Hilfe der Zugeisen *A*. Der Schild hatte ein Gesamtgewicht von 72600 kg.

Fig. 206 u. 207. Ausbau des St. Clair-Tunnels.

Fig. 206. Querschnitt.

Fig. 207. Längenschnitt.



Für das Vordrücken des Schildes waren rings am Umfang in der Querwand *W* (Fig. 205) 24 Pressen *P* (Fig. 204) eingebaut, deren Cylinder in den vorderen Arbeitsraum hineinreichten, wo sie von je 2 Eisenteilen, die mit der Trommel und der Querwand fest verbunden waren, getragen wurden. Die Pressen konnten eine Druckkraft von je 125 t, alle zusammen also eine solche von 3000 t ausüben. Es genügten aber im allgemeinen 1200 bis 1500 t, seltener war eine Kraft von 1600 t notwendig.

Für die Bestimmung der Richtung beim Vordrücken des Schildes hatte man in die Wände der weiter zurück, im fertigen Tunnel eingebauten Luftschleuse eine 30 cm weite gußeiserne Röhre genau in die Mittellinie des Tunnels eingelegt, die an jedem Ende mit einem einstellbaren Fadenkreuz und außerdem mit einer aufklappbaren, luftdicht schließenden Glasplatte versehen war. Die Fadenkreuze werden nach den im fertigen Tunnel angebrachten festen Marken genau auf die Mittellinie eingestellt, wobei die hintere Glasscheibe, zur Vermeidung einer Ablenkung des Sehstrahls durch das Glas, aufgeklappt war. Als dann wurde die hintere Glasscheibe geschlossen und die vordere geöffnet, um während des Vordrückens des Schildes mit Hilfe eines im Innern der Luftkammer in der Mittellinie eingestellten Instrumentes an einer Marke, die an der Schildwand angebracht war, die Lage des Schildes zur Mittellinie dauernd zu beobachten. Dabei wurden die Fadenkreuze und sonstigen Marken von der Seite durch elektrisches Licht beleuchtet. Man erreichte durch diese sorgfältig ausgeführte Messung, daß der Schild an keiner Stelle mehr als 0,5 cm aus der Richtung kam.

Der Tunnelausbau erfolgte mit gußeisernen, mit Flanschen versehenen 5 cm starken Ringstücken (Fig. 206 u. 207) die eine Tunnelröhre mit einem äußeren Durchmesser von 6,4 m bildeten. Jeder Ring

von 4,46 m Breite bestand aus 14 Ringstücken, von denen das mittlere Schlufsstück parallele Flanschen hatte; jedes einzelne war mit einem Loch versehen, durch das Cementbrei hinter die Tunnelröhre gespritzt wurde, um den durch den grösseren Schild entstandenen Hohlraum auszufüllen. Zur Abdichtung des Tunnelmantels wurden in den Fugen zwischen den Längsflanschen der Ringstücke dünne Bretter aus Eichenholz eingelegt, während die Quertugen mit dickem, teergetränktem Tuch gedichtet wurden. Das Gewicht der eisernen Tunnelauskleidung betrug auf das Meter 14 t. Bei dem Einbauen der etwa 475 kg schweren einzelnen Ringstücke benutzte man einen an der Querwand des Schildes derart befestigten Kran, das dessen Ausleger im Kreise um die Tunnelachse gedreht werden konnte. Von dem Ausleger wurden die Ringstücke gefasst und mittels der Krangetriebe in die richtige Lage gebracht, um mit den bereits eingebauten Stücken verschraubt zu werden. Bei den später ausgeführten weiteren Röhrentunneln ist dies Verfahren fast durchweg zur Anwendung gekommen. Es ist bei der nachfolgenden Besprechung des Blackwall-Tunnels näher beschrieben worden, worauf hier Bezug genommen wird. Die Räume zwischen den Flanschen im Innern der Tunnelröhre wurden mit Ziegelmauerwerk in Cement ausgekleidet, derart, das die Flanschen selbst um einige Centimeter hinter die Leibung zurücktreten.

Man beabsichtigte anfänglich, den Tunnel von zwei Schächten aus vorzutreiben, doch stiefs man bei Herstellung dieser Schächte infolge von sehr schlammigen und wasserreichen Stellen im Gebirge auf solche Schwierigkeiten, das man die Schächte aufgeben mußte. Man stellte statt deren die Voreinschnitte her und ging gleich von diesen aus mit dem Schildvortriebe vor, der hier den überraschenden Erfolg hatte, das der ganze Tunnel in der kurzen Zeit von 14 Monaten fertiggestellt wurde. Am 11. Juli 1899 wurde mit dem Voreintrieb auf amerikanischer Seite begonnen, am 21. September auf der kanadischen und am 30. August 1890 trafen die Schilde von beiden Seiten aufeinander. Es ist dies eine aufserordentlich grofse Leistung, die volle Anerkennung verdient und den besten Beweis für die Zweckmäfsigkeit der Schildbauweise liefert.

Bis an die Flufsufer heran konnte man auf beiden Seiten ohne Prefsluft arbeiten, unterhalb des Flusses wurde Prefsluft notwendig, deren Überdruck von 0,7 auf 1,6, zeitweise sogar auf 2 Atmosphären gesteigert werden mußte. Um das Entweichen der Prefsluft möglichst zu verhindern, hatte man anfänglich am hinteren Ende des Schildmantels, das die Tunnelröhre auf geringe Länge umschlofs, in der Nute eines an der inneren Wandung angebrachten Eisenringes einen starken Gummiring angebracht, der sich unmittelbar an die Tunnelröhre anlegte. Es stellte sich aber heraus, das dieser Gummiring beim Vortreiben des Schildes aus der Nute des Eisenringes herausgerissen wurde. Man verwendete dann an dessen Stelle einen eisernen Ring, der sich bewährte.

Beim Vortrieb ging man sehr vorsichtig vor. Es wurde dauernd mit einem 15 cm starken Löffelbohrer das Gebirge vor dem Schilde untersucht, indem man 5 bis 6 3 m tiefe Löcher vor dem Schilde herstellte. Wurde dabei Schlamm oder entzündbares Gas angebohrt, dann blieb Zeit, um geeignete Sicherheitsmafsregeln zu treffen. Steinblöcke, die angetroffen wurden, mußten durch Keilen zerkleinert werden, da Sprengen mit Rücksicht auf die dabei erzeugten Gase in der Prefsluft ausgeschlossen war. Der Thonboden war meist von aufserordentlich zäher Natur, sodafs man ihn mit Hacken oder Spaten nicht gewinnen konnte. Man ging schlieslich nach vielen erfolglosen Versuchen zur Verwendung von halbrunden Schabeisen über, mit denen ein angemessener Fortschritt erzielt wurde.

Der Baufortschritt betrug im Monat im Mittel auf der amerikanischen Seite 80,3 m, auf der kanadischen 66,8 m. Im Juli 1890 wurde auf der amerikanischen Seite die grösste Monatsleistung mit einem Fortschritt von 382,3 m erreicht. Es wurde in achtstündigen Schichten Tag und Nacht gearbeitet. Auf jeder Seite waren gleichzeitig 75 Mann thätig, davon arbeiteten 26 Mann vor Ort und 16 bei der Herstellung der Tunnelröhre.

Die Baukosten beliefen sich im ganzen auf 2700000 Dollar, davon entfielen auf:

Vorarbeiten . . . . .	250 000	Dollar
Maschinen und Einrichtung . . . . .	250 000	"
Arbeiten . . . . .	900 000	"
Tunnelauskleidung . . . . .	800 000	"
Verschiedenes Material . . . . .	100 000	"
Grunderwerb, Steuern . . . . .	110 000	"
Wege und rollendes Material . . . . .	50 000	"
Zugangsschächte . . . . .	200 000	"
Versuche und Bauaufsicht . . . . .	40 000	"

### 8. Der Mersey-Tunnel der Liverpools Vyrnwy-Wasserversorgung (1890 bis 1892).<sup>76)</sup>

Die in den letzten Jahren vollendete neue Wasserleitung, die Liverpool aus dem 125 km von der Stadt entfernten, in Wales gelegenen Staubecken des Vyrnwy-Flüßchens versorgt, unterschreitet den Mersey bei Fidler's Ferry, 22,5 km oberhalb der Liverpools Landebrücke mittels eines zwischen zwei Schächten liegenden, 245,5 m langen Röhrentunnels, zu dessen Herstellung ebenfalls das Schildsystem Anwendung gefunden hat. Die zahlreichen Fehler, die bei der Ausführung gemacht wurden und namentlich die unzweckmäßige Einrichtung des verwendeten Brustschildes, durch die der Bau außerordentlich in die Länge gezogen wurde, rechtfertigen ein näheres Eingehen auf diese Ausführung. Man schob anfänglich die schlechten Erfahrungen auf das System, aber hier wie an anderen Stellen hat man am letzten Ende doch eingesehen, daß der Versuch, das Bausystem für die von den Ausführenden gemachten Fehler haftbar zu machen, verfehlt war. Andererseits hat man aus den Vorgängen die Lehre ziehen können, daß bei derartigen Ausführungen die Regiearbeit häufig vor der Unternehmerarbeit den Vorzug verdient.

Mit Bezug auf das Bauwerk an sich ist zunächst zu bemerken, daß die Tunnelröhre in gewöhnlicher Weise aus eisernen Ringen zusammengesetzt ist. Sie liegt rund 16 m unter dem Gelände, hat 3,05 m äußeren Durchmesser und 2,75 m lichte Weite zwischen den Flanschen. Sie ist zusammengesetzt aus 46 cm langen gußeisernen Ringen, deren jeder aus 10 Stück 0,915 m langen und 180 kg schweren Bogenplatten und einem 0,254 m langen und 45 kg schweren Scheitelstück zusammengesetzt ist. Die Stärke der Platten beträgt 4,3 cm. Der Raum zwischen den Flanschen ist in gewöhnlicher Weise mit Cement ausgefüllt und erweitert sich nach der Tiefe, um die Füllung besser festzuhalten.

Um den Durchmesser des Tunnels möglichst gering zu machen, hat man ihn zwischen den Schächten und zwar nach der nördlichen Seite hin ein Gefälle von 1,90 m — entsprechend rund 1:130 — gegeben. Dieses verhältnismäßig starke Gefälle gestattete, den Durchmesser der durch den Tunnel zu legenden Wasserleitungsröhren entsprechend einzuschränken. Außerdem hat man innerhalb des Tunnels glatte Stahlröhren in Aussicht genommen. Gegenwärtig führt der Tunnel nur ein einziges Wasserleitungsrohr von 81 cm Durchmesser; im Falle späterer Erweiterungen können noch zwei weitere Röhren hindurchgelegt werden. In dem nördlichen Schacht, wohin das Gefälle des Tunnels gerichtet ist, befindet sich ein Pumpensumpf; die Pumpen werden von dem Leitungswasser selbstthätig in Bewegung gesetzt, wenn das Sammelwasser eine gewisse Höhe erreicht hat. Das zu durchführende Gebirge bestand, wie Schürfvorsuche bereits ergaben, aus drei ganz verschiedenen Materialien, Kiesgerölle, Sand und Schlamm, die ganz durchsetzt waren mit Grundwasser, dessen Druck mit dem Tidewechsel im Mersey an jedem Punkte zu- und abnahm. Die Beschaffenheit des Gebirges wechselte beständig innerhalb der Grenzen vom feinsten Schlamm bis zum größten, fast völlig sandfreien Gerölle. Im gleichförmigen Schlamm wäre die Arbeit eine verhältnismäßig einfache gewesen; sie wurde aber dadurch in hohem Grade erschwert, daß die genannten drei Bodenarten fast in jedem Profil zusammen angetroffen wurden. An einzelnen Stellen fanden sich Streifen von Thon, die an sich freilich undurchlässig, doch rings von Wasser umgeben waren. Die Streifen waren so niedrig, daß sie nie das ganze Profil ausfüllten, sondern sich am Boden, in der Mitte oder an der Firste entlang zogen.

Am 30. April 1888 wurde die Ausführung an einen Unternehmer vergeben, der aber die Arbeiten bald im Stiche liefs. Eine zweite Unternehmerfirma stellte mit unsäglichem Mühen die Schächte und unter Anwendung eines Brustschildes 55,5 m Tunnel mit einem gesamten Zeitaufwande von 41 Monaten her, um dann ebenfalls die Arbeiten niederzulegen, nachdem sie etwa  $\frac{1}{3}$  Million Mark bei der Unternehmung eingebüßt hatte. Die Aufforderung der Stadtbehörde, dennoch die Arbeiten weiter zu führen, zog sich der eine Inhaber der Firma so zu Herzen, daß er sich das Leben nahm. In dieser Bedrängnis wurde der bewährte Rat des Sir Benjamin Baker eingeholt, der mit richtigem Blick erkannte, daß

<sup>76)</sup> Kemmann. Neuere Tunnelbaumethoden, namentlich im Hinblick auf die Anlage städtischer Verkehrsmittel. Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahnverw. 1894, S. 578.

Fig. 208 u. 209. Schild des Mersey-Tunnels.

Fig. 208. Längenschnitt (erster Schild).

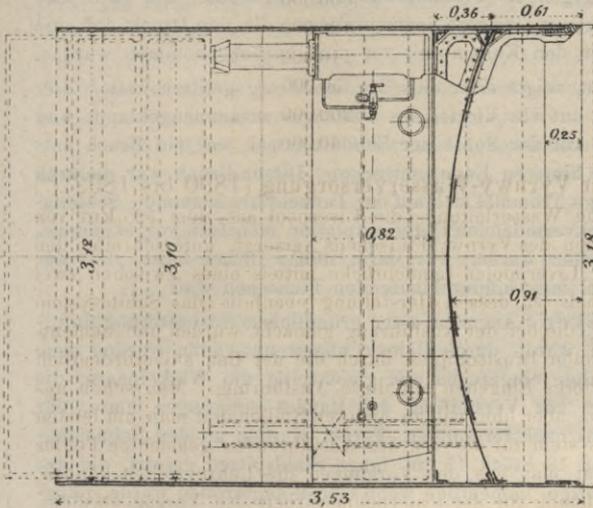
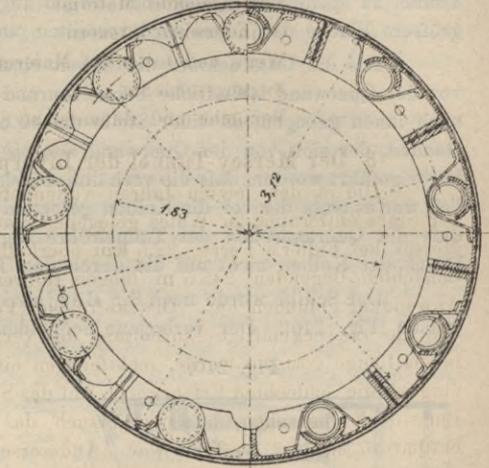


Fig. 209. Querschnitt.



unsachgemäße Vorkehrungen die ganze Sachlage verschuldet hatten. Die Stadt Liverpool nahm nunmehr die Sache selbst in die Hand. An dem Brustschilde wurden durchgreifende Änderungen vorgenommen, mit solchem Erfolg, daß es thatsächlich gelang, die noch fehlenden 188,5 m Tunnel in 18 $\frac{1}{2}$  Wochen vollständig fertig zu stellen. Der Brustschild, wie ihn die Unternehmer früher verwendet haben, war höchstens für Sand oder feinen Kies, nicht aber für die vorkommenden Bodenmischungen brauchbar und zeigte überhaupt in seinen Einzelheiten erhebliche Mängel. Der in den aus dem Werke von Legouëz entnommenen Fig. 208 u. 209 (Legouëz S. 165 u. 166) dargestellte Schild hatte 3,53 m Länge und 3,09 m inneren Durchmesser, die Trommelwand bestand aus einer 4 cm starken Doppellage von Blechen, deren Befestigungsniete außen versenkte Köpfe hatten. Die Querwand war nahe an die Scheiben gerückt, sodafs die Pressen vollständig hinter ihr lagen. Sie hatte die Form einer Kugelschale, die nach rückwärts mit einem Stich von 0,31 m ausgebaucht war. Der Rand der Querwand safs 0,61 m hinter der Schneide und war hier durch beiderseitig rings herumlaufende Winkel mit der Trommel verbunden. Der überstehende Schneidenrand war durch 9 vorgestreckte Winkeleisenpaare versteift. Ursprünglich war beabsichtigt, das Gebirge mittels Strahlpumpen abzubauen. Zu dem Zwecke waren nahe am Umfange der Querwand ringsherum 9 kleine Öffnungen vorgesehen, durch die das Wasser eingespritzt werden sollte. Für den Abfluß der Berge war im unteren Teile der Querwand eine 15 cm weite Öffnung angebracht, an die eine Förderröhre angeschlossen werden sollte. Über dieser Öffnung lagen in der senkrechten Mittellinie der Querwand andere gleich große, die zum Lösen des Gebirges von Hand benutzt werden sollten. Da sich das beabsichtigte Verfahren in Anbetracht der lehmigen und kiesigen Gebirgsbeschaffenheit nicht bewährte, wurde schließlic an der Sohle der Querwand eine kreistrapezförmige Platte herausgenommen und durch diese hindurch das Gebirge abgebaut. Im weiteren Verlaufe zeigte sich, daß man stellenweise noch weitere Platten herausnehmen konnte; so wurde in der Mitte eine Kreisplatte von 0,9 m Durchmesser und darüber noch ein weiterer Kreisabschnitt entfernt und auf diese Weise die Brust noch weiter freigelegt. Es wurde hierbei in Druckluft gearbeitet. Die Luftschleusen, deren Höhe 2,14 m und deren Lichtweite 0,76 m betrug, waren in den Uferschacht, von dem der Tunnel ausging, eingebaut und zwar in einem eisernen Boden, der in halber Höhe quer durch den Schacht gespannt war.

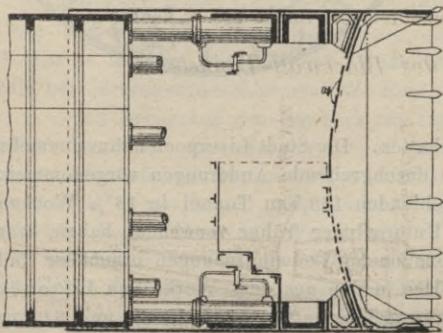
Für den Vorschub waren 9 Druckwasserpressen von 0,18 m Durchmesser und 0,61 m Hub vorgesehen, die, wie schon angeführt, vollständig hinter der Querwand lagen. Der jedesmalige Vorschub betrug 46 cm. 1,0 m hinter der Schneide der Schildtrommel hatte man einen flanschartigen Ansatzring im Schilde ringsherum geführt, gegen den sich die Presscylinder setzten. Ihr Druck wurde mittels kleiner Versteifungsbleche weiterhin auf die Querwand selbst übertragen. Die Cylinder wurden in Lagerschalen mittels übergelegter Bandseile festgehalten. Die an jeder Lagerschale sitzende Fußplatte erstreckte sich im Bogen über  $\frac{1}{2}$  der inneren Trommelleibung und war an jedem Ende flanschartig auf-

gebogen, sodass die Flanschen je zweier aneinanderstossender Fufsplatten miteinander fest verschraubt werden konnten. Auf diese Weise wurde ein ringsherum laufender, an 9 Stellen durch Flanschen verbundener Lagerring für die Pressen gewonnen, dessen Zusammensetzung also derjenigen der Tunnelringe nachgebildet war. Die Lager wurden noch fest gegen die Trommelwand angekeilt. Die nach dem Tunnel zu spielenden Presskolben trugen angelentete gufseiserne Segmentplatten, die den Druck auf eine gröfsere Fläche der Tunnelstirn verteilten und von den Kolben mit vor- und zurückgenommen wurden.

Als die Unternehmer die Arbeit einstellten, zeigte sich, dafs der Schild arg gelitten hatte. Der vor der Querwand befindliche Schneidenrand war auf ein Viertel des Umfanges zusammengeklappt und nach innen gebogen, an einer Stelle um 40 cm. Auf der Sohle der Schildtrommel war ein Bruch entstanden, der sich von der Querwand aus bis zum hinteren Ende erstreckte. Dieser Bruch war dadurch herbeigeführt worden, dafs die verhältnismäfsig lange Trommel sich auf der Tunnelröhre klemmte. Schliesslich war es trotz der vor die Kolben gesetzten druckverteilenden Unterlagsplatten mehrfach vorgekommen, dafs die Querflanschen der Tunnelröhre abgebrochen waren, was darin seinen Grund hatte, dafs der Druck der Kolben nicht auf die durch den Tunnel lang hindurchlaufenden Flanschen traf.

Der Schild wurde nach Sir Benjamin Baker's Angaben einer gründlichen Ausbesserung unterworfen (Fig. 210). Der verbogene Schneidenrand wurde durch Bohrer abgetrennt, dann wurden neue

Fig. 210.



Platten eingezogen und gleichzeitig die Winkelpaare, die man zur Versteifung des Randes eingezogen hatte, der Zahl nach verdoppelt. Ferner wurden an den Schneidenrand 18 Stück 15 cm lange Stahlspitzen gesetzt, die das Gebirge, namentlich wenn Geröll angetroffen wurde, pflugscharartig loslösen sollten. Die Zahl der Pressen wurde um eine vermehrt, damit der Kolbendruck auf die Längsflanschen des Tunnels traf. Um die Übertragung des Druckes der Pressen auf die Querwand zu verbessern, wurde ein ringförmiger Gufseisenträger zwischen die Kolben und die Querwand gesetzt. Die Fuge in der Sohle des Schildes wurde zunächst belassen, um erst abzuwarten, ob sie sich später erweitern würde. Eine grundsätzliche Änderung wurde indessen an der Querwand vorgenommen.

Es war früher vorgekommen, dafs unverhofft der Widerstand, den das Gebirge dem Zudrängen des Wassers, sei es an der Sohle oder einem höher gelegenen Punkte, entgegengesetzte, nachliefs und schlammige Bodenmassen sich ins Innere ergossen. Dies veranlafste den Sachverständigen, den unteren Teil der vorhandenen Querwand abbrechen und einige Fufs dahinter eine Wand aufzurichten zu lassen, deren Oberkante etwas höher reichte, als die Unterkante des stehengebliebenen oberen Teiles der Querwand. Hierdurch wurde ein Wasserverschluss der beim Hudson-Tunnel besprochenen Art gebildet, der sich später ausserordentlich nützlich erwies, wenn ein Einbruch von Sand und Wasser erfolgte. Die Zugänglichkeit der Brust wurde durch die neue Einrichtung nur wenig behindert, während das einbrechende Material sofort gehemmt wurde.<sup>77)</sup>

Unter den veränderten Verhältnissen gelang es, den Tunnelarbeitern besseres Vertrauen an der neuen Einrichtung einzuflofsen, als sie zu der alten hätten haben können, und als ihnen von Seiten der bauleitenden Behörde — nunmehr der Stadt Liverpool selbst — für den Fufs, den der Schild über 18 Fufs (5,5 m) wöchentlich vorgebracht würde, eine besondere Prämie versprochen wurde, nahmen sie die Arbeit wieder auf. In 18 $\frac{1}{2}$  Wochen — vom 12. November 1891 bis 22. März 1892 — wurden denn auch thatsächlich die noch fehlenden 188,5 m Tunnel fertiggestellt. Die höchste Wochenleistung belief sich auf 17,4 m, die durchschnittliche, einschliesslich der Aufenthalte durch Betriebsstörungen auf 10,4 m.

Ohne solche Störungen ging es auch nachher keineswegs ab. Am 18. Februar 1892 fand ein Durchbruch statt, der die Arbeiter in die Luftschleuse zurücktrieb. Als man nach Ablauf von 16 Stunden wieder in den Tunnel drang, fand sich, dafs reichlich 200 cbm Schlamm eingeflossen waren. Im Flussbett fand sich unmittelbar über dem Vortriebsapparat eine starke Senkung. Man füllte dieselbe mit einer der Einbruchsmasse entsprechenden Menge Thon aus und überdeckte auch noch den Flussgrund über der noch zu untunnelnden Strecke bis zur Niedrigwasserlinie mit Thon, um ähnlichen Vorkommnissen für die Folge vorzubeugen.

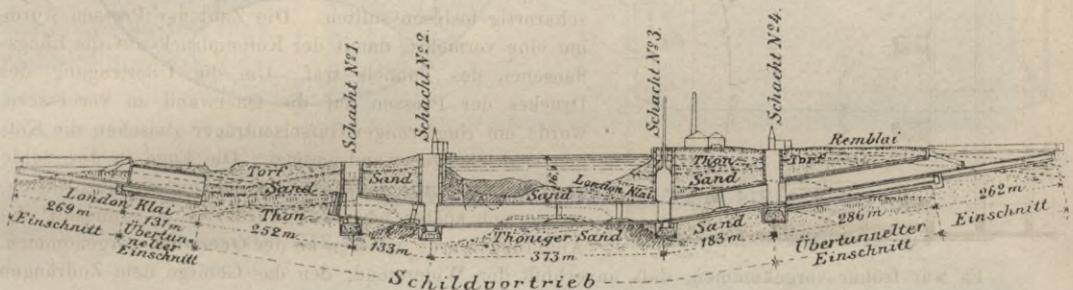
<sup>77)</sup> Die Fig. 206 bis 220 sind dem Werke von Legouéz: „De l'emploi du bouclier dans la construction des souterrains“ entnommen.

Eine fernere Unterbrechung wurde dadurch hervorgerufen, daß der in der Sohle der Schildtrommel vorhandene Längsbruch der Platten sich erweiterte. Hierzu trat noch ein Querrifs, der von dem Längsrifs ausging und zur Folge hatte, daß die in Mitleidenschaft gezogenen Blechplatten sich wie eine Pflugschar aus ihrer Lage herabbogen. Man war gezwungen, ein 2 m langes und 2,75 m breites Stück der Trommel wegzuschneiden und durch ein neues zu ersetzen. Diese Arbeit, die zu einer Zeit ausgeführt werden mußte, wo das Gebirge von denkbar schlechtester Beschaffenheit war, nahm 12 Tage in Anspruch. Der abgetrennte Teil der Trommel konnte nicht herausgenommen werden, sondern wurde bei der Wiederaufnahme der Arbeit vom Schilde zurückgelassen.

Schließlich fing die Schildtrommel, nachdem etwa Dreiviertel des Tunnels fertiggestellt war, an, sich um ihre Längsachse zu verdrehen und obwohl man die aufsteigende Seite der Trommel mit einer 7,5 m langen Schiene beschwerte, hatte die Drehung am Schluß der Arbeit doch den Betrag von 30 cm erreicht. Ähnliches ist, wie schon angeführt, auch bei anderen Tunneln beobachtet worden, ohne daß sich diese eigentümliche Erscheinung bisher auf bestimmte Ursachen zurückführen ließe.

Der Luftüberdruck im Tunnel betrug anfänglich 1,2 Atmosphären, wurde aber schließlich auf 0,7 Atmosphären ermäßigt. Der höchste vorgekommene Überdruck betrug 1,75 Atmosphären. Ehe die Zähne an die Schneide angesetzt wurden, hatte der Wasserdruck in den Cylindern oft über 280 kg auf 1 cbm betragen. Später konnte man ihn auf 210 kg und streckenweise sogar auf 140 kg ermäßigen. Nach dem vorerwähnten größeren Durchbruch hielt man die Kolben beständig unter Druck, sodaß man fast sagen konnte, daß der Schild jeder weggenommenen Schaufel voll Boden sofort nachfolgte.

Fig. 211. Geologischer Längenschnitt des Blackwall-Tunnels.



9. Der **Blackwall-Tunnel**, in den Jahren 1892 bis 1897 unter der Themse erbaut, dient zur Verbindung der bevölkerten Städte Woolwich und Greenwich mit dem gegenüberliegenden Ufer. Zu diesem Zweck sind durch den Tunnel eine 4,88 m breite Fahrstraße und zwei je 0,95 m breite Bürgersteige geführt. Unter dem 370 m breiten Flussbett liegt der Tunnel in der Wagerechten, an die sich beiderseits zum größten Teil auch im Tunnel gelegene Zufahrtsrampen, deren Neigung 1:36 bzw. 1:34 beträgt, anschließen (s. Fig. 211). Die Gesamtlänge des Tunnels ist 1890 m, hiervon sind 941 m mit Schildvortrieb, 418 m im offenen Einschnitt und 531 m als offene Rampen hergestellt. Die Tunnelsohle liegt 24 m unter dem Hochwasser der Themse. Auf beiden Ufern sind je 2 Schächte angelegt, die die Richtungswechsel des Tunnels vermittelten und von denen aus der Schildvortrieb erfolgte. Diese Schächte haben einen Durchmesser von 14,6 m und eine Tiefe von 23 und 30 m. Sie sind als doppelwandige eiserne Cylinder hergestellt. Der Hohlraum zwischen den Blechwänden wurde ausbetoniert. In dem unteren Teil der Wandungen sind Öffnungen für den Durchtritt der Schilde gelassen (s. Fig. 212, S. 254).

Das durchhörte Gebirge zeigte sehr wechselnde Schichten. Neben Schlamm- und Moorablagerungen fanden sich hauptsächlich wasserführende Thon- und Sandschichten, sodaß der Durchtunnelung recht ungünstige Verhältnisse entgegenstanden (s. Fig. 211).

Die kreisförmige gusseiserne Tunnelröhre hat die größten bisher angewandten Abmessungen (Fig. 213). Der äußere Durchmesser ist 8,23 m, der innere — zwischen

den Flanschen gemessen 7,62 m. Die Wandstärke ist 50 mm, die Höhe der Flanschen 305 mm, ihre Stärke 64 mm. Die Breite der einzelnen Tunnelringe beträgt 76 cm. Jeder Ring ist aus 14 Bogenstücken und 1 Schlufsstück zusammengesetzt (siehe Fig. 213).

Fig. 212. Schachthöhenschnitt.

Fig. 213. Querschnitt durch den Blackwall-Tunnel.

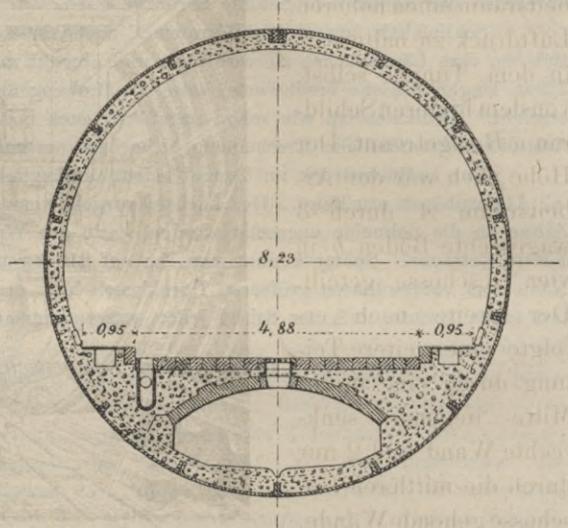
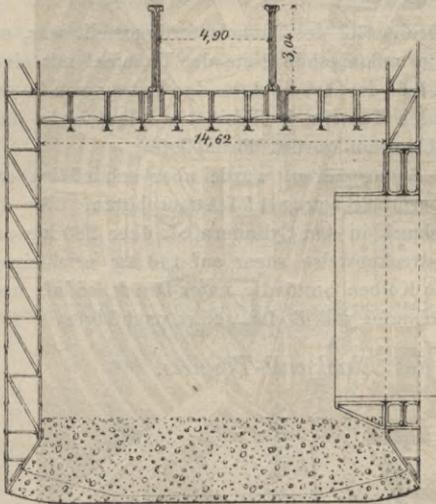
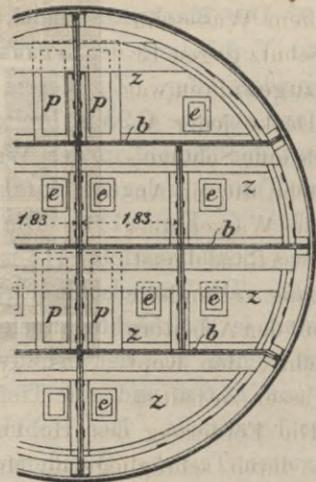
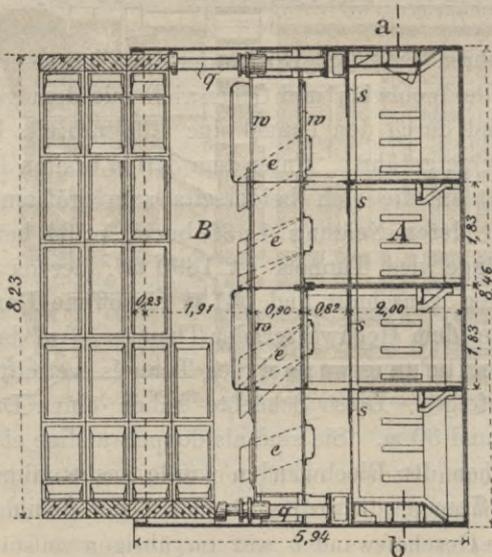


Fig. 214 u. 215. Schild des Blackwall-Tunnels.

Fig. 214. Schild-Längenschnitt.

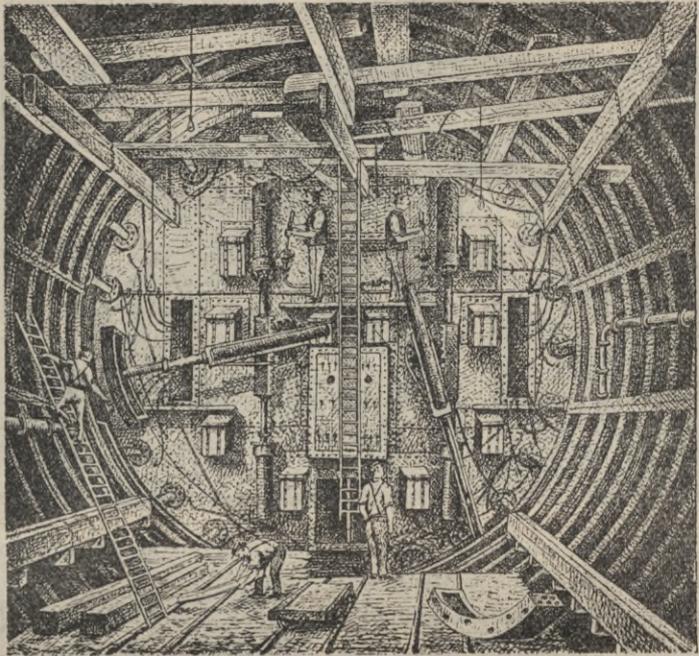
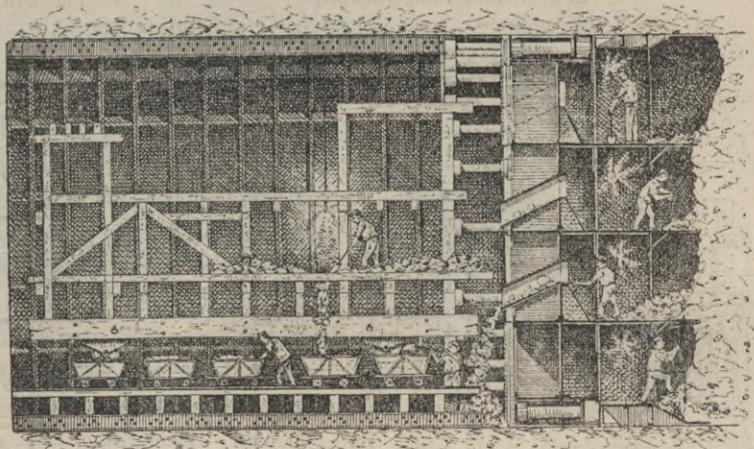
Fig. 215. Querschnitt ab.



Der zur Verwendung gekommene Schild (s. Fig. 214 bis 217) hatte einen äußeren Durchmesser von 8,46 m und eine Länge von 5,94 m. In seiner Bauart ist den schwierigen vorhandenen Bodenverhältnissen in jeder Hinsicht Rechnung getragen, und sie hat sich auch ausgezeichnet bewährt.

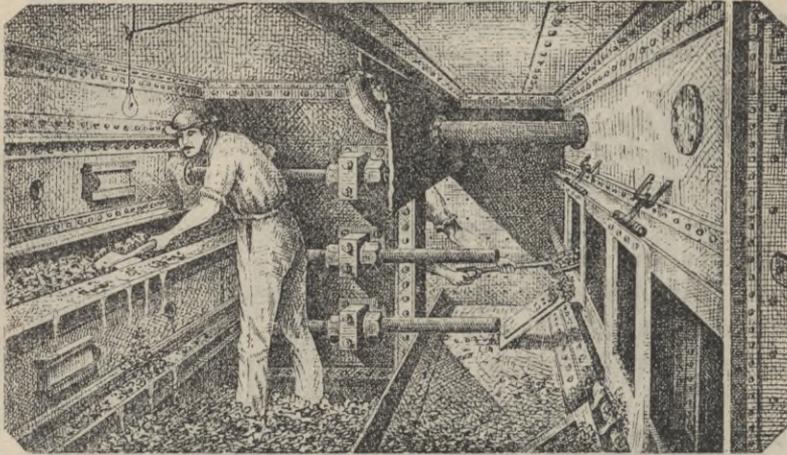
Die vordere Arbeitskammer *A*, die eine Länge von 2,82 m hat, war durch zwei dichte Querwände *ww*, die ermöglichten, in dem Arbeitsraum einen höheren Luftdruck zu halten als in dem Tunnel selbst, von dem hinteren Schildraum *B* abgetrennt. Der Höhe nach war der Arbeitsraum *A* durch 3 wagerechte Böden *b* in vier Geschosse geteilt. Der Breite nach erfolgte eine weitere Teilung durch eine in der Mitte liegende senkrechte Wand und 2 nur durch die mittleren Geschosse gehende Wände, sodafs im ganzen 12 Arbeitszellen  $\approx$  vorhanden waren. Um den in diesen Zellen beschäftigten Arbeitern bei plötzlichem Wassereintrich Schutz gegen Ertrinken zu gewähren, war an der Decke jeder Arbeitszelle eine Schürze *s* angebracht, die ein Ansteigen des Wassers über den unteren Rand derselben hinaus verhinderte und somit den Arbeitern ermöglichte, den Kopf über Wasser zu halten.

Die Förderung des vor Ort gewonnenen Bodens nach dem hinteren Schildraum erfolgte durch schrägliegende Materialschleusen *e*, die in den beiden Querwänden *ww* eingebaut waren. Die in der Mitte liegende Geschosswand *b* war im übrigen vollständig dicht hergestellt, sodafs in der oberen und unteren Hälfte des Schildes mit verschieden gespannter Druckluft gearbeitet werden konnte, was allerdings nicht nötig geworden ist. Zu dem Zwecke waren auch beide übereinanderliegende Hälften des Schildes mit besonderen Personenschleusen *p* versehen. Zur Verstärkung des vorderen Teiles des Schildmantels der Schneide war ein cylindrischer Ring eingebaut, der mit dem Mantel durch längs- und kreisförmige Träger verbunden war.

Fig. 216. *Hinterer Schildansicht.*Fig. 217. *Tunnelvortrieb (Längenschnitt).*

Da trotz der in der Arbeitskammer eingeblasenen Druckluft das Gebirge vor Ort meist nicht anstand, so machte sich ein Verzug der Brust nötig und erfolgte dieser nach Fig. 218 durch drei übereinanderliegende Blechträger, die unabhängig voneinander mittels wagerechter

Fig. 218. *Brustverzug.*



Schraubenbolzen mit Hilfe der Muttern, die sich gegen einen mit den senkrechten Scheidewänden fest verbundenen Backen stützten, vor- und rückwärts bewegt werden konnten.

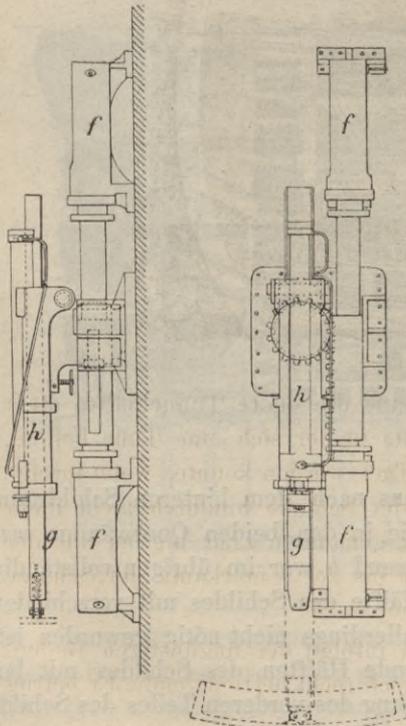
Beim Vortrieb des Schildes wurden die vorderen Muttern entsprechend gelöst, sodass der Boden vor Ort durch die Blechträger in der gleichen Lage abgestützt blieb. In wechselflüssigen Bodenschichten konnte der Boden nicht mehr zwischen den Blechträgern weggenommen werden, da jede Spalte vermieden werden musste, er konnte vielmehr dann

Fig. 219 u. 220. *Druckwasserkran.*

Fig. 219.

Fig. 220.

nur noch aus in den Blechträgern gelassenen und mit Schiebethüren verschließbaren Löchern in die Arbeitszellen abfließen.



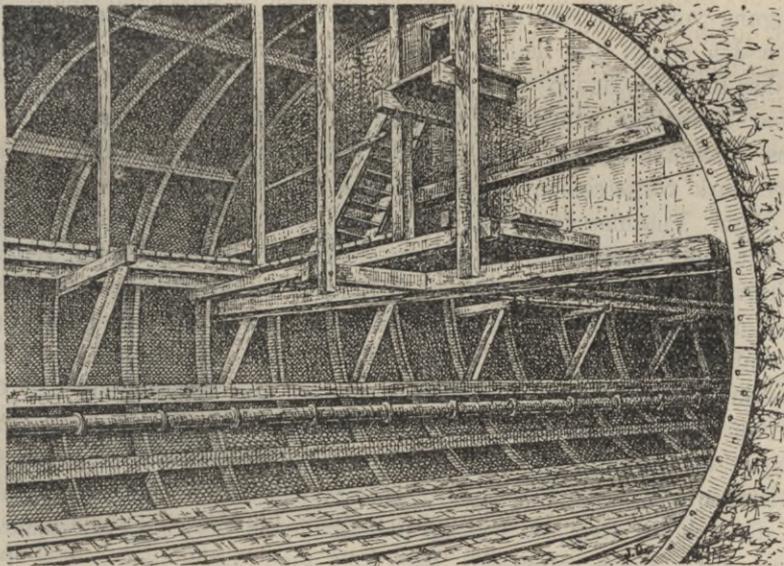
Der Schildvortrieb geschah mittels der am Schildumfang angebrachten 28 Wasserdruckpressen von zusammen 2800 t Druckkraft in bekannter Weise; ebenso der Einbau der Tunnelringe nach erfolgtem Schildvorschub. Für letztgenannten Zweck waren an der hinteren Abschlusswand des Schildes zwei hydraulische Krane nach Fig. 219 u. 220 angebracht. Jeder dieser Krane hatte zwei Wasserdruckzylinder, von denen der eine, ein Doppelzylinder *ff*, die Drehung des Kranarmes *g*, der andere *h*, in dem sich der Kranarm hin- und herbewegen konnte, die Verlängerung und Verkürzung dieses Armes selbst bewirkte.

Zur Erzeugung der erforderlichen Druckluft war eine Maschinenanlage von 1500 Pferdekraften, wovon jedoch gewöhnlich nur 1000 bis 1200 gebraucht wurden, nötig. Die Druckluftpumpen konnten hierbei ungefähr 225 cbm Luft in der Minute liefern. Die Druckluft wurde vor Abgabe in den Tunnel durch eine Art Oberflächenkondensator gekühlt.

Zum Abschluss des vorderen unter Druckluft stehenden Tunnelraumes wurde in dem Tunnel eine

Quermauer aus Ziegelsteinen, die gut mit Cement verputzt wurde, errichtet. Da diese Mauer einen Luftdruck bis 1000 t (bis 2,4 kg f. d. qcm) auszuhalten hatte, so wurde sie 3,8 m stark gemacht. In dieser Mauer waren 3 Luftschleusen untergebracht, von denen sich zwei in der Höhe des Fußbodens befanden. Diese waren 4,6 m lang und hatten 2,1 m Durchmesser. Ihre Thüren waren 1,5 m hoch und 1,2 m breit, welche Abmessungen das gleichzeitige Durchschleusen je zweier Förderwagen durch eine Schleuse gestatten. Eine dritte Schleuse war unter der Decke des Tunnels angebracht und diente als Notschleuse für die vor Ort beschäftigten Arbeiter in dem Falle, daß bei einem plötzlichen Wassereinbruch der untere Teil des Tunnels und hiermit auch die unteren Schleusen unter Wasser gesetzt wurden. Trotz der dichten senkrechten Scheidewände und der ganzen Einrichtung des Schildes selbst traten solche Wassereinbrüche bei plötzlichen starken Luftverlusten ein, indem das Wasser seinen Weg durch den Zwischenraum zwischen Schildmantel und dem zuletzt eingebauten Tunnelring nahm. Thatsächlich ist die Notschleuse von den sich flüchtenden Arbeitern auch zweimal benutzt worden. Zur Verbindung des Schildes mit der Notschleuse diente ein in halber Höhe des Tunnels angebrachter hölzerner Laufsteg.

Fig. 221. *Schürze.*



Außerdem war etwa 39 m hinter dem Schilde eine die obere Tunnelhälfte dicht abschließende eiserne Schürze (s. Fig. 221) angebracht, in der sich eine Thür befand, die für den Durchgang der Arbeiter augenblicklich geöffnet werden konnte, wenn infolge des Wassereinbruchs ein Passieren der Arbeiter unter der Schürze hindurch nicht mehr möglich war. Das Wasser konnte nach Schließen der genannten Thür hierbei auf der Strecke zwischen der Schürze und der Notschleuse nur bis zur Unterkante der Schürze ansteigen, sodafs der obengenannte Lauf wasserfrei blieb.

Trotz der teilweise sehr großen Schwierigkeiten infolge der ungünstigen Bodenbeschaffenheit war der Fortschritt des Tunnelvortriebes doch recht befriedigend. Er betrug im Durchschnitt 2,50 m täglich und stieg bis auf 3,81 m.

Nebenbei mag hier noch bemerkt werden, daß während bei den früher beschriebenen Ausführungen die Zusammensetzung des Schildes stets auf der Schachtsohle erfolgte, die Schilde bei diesem Tunnel über Tage vollständig fertig zusammengebaut wurden. Um sie auf die Sohle der Schächte zu bringen, wurden sie an ihren Stirnseiten mit dichten Bretterwänden geschlossen und auf den mit Wasser gefüllten Schächten zum Schwimmen gebracht, wobei sie von über den Schächten stehenden Kranen zur Verhütung des Umkippen gehalten wurden. Durch Auspumpen des Wassers aus den Schächten wurden die Schilde allmählich bis auf die Schachtsohle abgesenkt und dort in einen vorher hergestellten Lagerbock abgesetzt. Durch diese Art der Absenkung ist gegenüber der früher gebräuchlichen erheblich an Zeit und Kosten gespart worden.

**10. Der Spree-Tunnel bei Berlin (1896 bis 1899)** bot in Deutschland bis vor kurzem das einzige Beispiel eines Tunnelbaues<sup>78)</sup>, bei dem die Schildbauweise zur Anwendung gekommen ist und der in seiner ganzen 454 m betragenden Länge in Schwimmsand, nur 3 bis 5 m unter der Sohle des Spreebettes liegend, zu den schwierigsten Ausführungen dieser Art gehört, die überhaupt vorgekommen sind. Seine Entstehungsgeschichte ist eine so eigenartige, daß sie hier kurz erwähnt werden soll.

Bereits im Jahre 1891 wurde von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft der Entwurf für ein umfassendes Liniennetz von Untergrundbahnen in Berlin den Behörden zur Genehmigung vorgelegt, der in überraschender Weise auf unerwarteten Widerstand stieß, da von den ersten und maßgebenden Technikern der städtischen Verwaltung in Anbetracht der Berliner Bodenverhältnisse die beabsichtigte Baumethode geradezu als undurchführbar bezeichnet wurde. Erst nach langwierigen Verhandlungen gaben die Behörden ihre Zustimmung zum Bau einer Probestrecke, die unter dem Spreebett am Treptower Park vorgetrieben werden und als tote Strecke liegen bleiben sollte.

Aus dieser Veranlassung trat im Jahre 1894 die Allgemeine Elektrizitäts-Gesellschaft mit einer Bankenvereinigung, an deren Spitze die Deutsche Bank steht, mit der Firma Philipp Holzmann & Cie. zu Frankfurt a. M., die durch reiche Erfahrung in Tiefbauten, namentlich auch in Prefsflugarbeiten, durch ihr geschultes Personal und durch ihre umfangreiche maschinelle Einrichtung für die glückliche Durchführung städtischer Verkehrsunternehmungen Gewähr leistet, zur Begründung der Gesellschaft für den Bau von Untergrundbahnen (G. m. b. H.) zusammen, zu deren Geschäftsführern der Regierungs- und Baurat C. Schnebel in Berlin und der Direktor der Firma Philipp Holzmann & Cie., W. Lauter zu Frankfurt a. M., berufen wurden. Diese Gesellschaft, die sich den Bau von Untergrundbahnen zur Aufgabe gesetzt hat, übernahm auch den Bau jenes Versuchstunnels. Zur Zeit der Genehmigung des Probetunnels stand die Gewerbeausstellung des Jahres 1896 noch bevor. Dies zeitigte den Entschluß, statt einer kürzeren, nicht nutzbar zu machenden Probestrecke die Spree in ihrer ganzen Breite zu unterfahren, und gleichzeitig, um das fertige Bauwerk — wenngleich in beschränkter Weise — nutzbringend verwerten zu können, die Genehmigung für eine Straßenbahn vom Schlesischen Bahnhof nach Treptow nachzusuchen, die durch den Tunnel hindurchgelegt werden sollte.

Die vorbereitenden Arbeiten für den Tunnelbau wurden im Sommer 1895 auf einem seitens der städtischen Behörden im Treptower Park zur Verfügung gestellten Bauplatz begonnen. Infolge sehr verspäteter Anlieferung des Brustschildes, mit dem die

<sup>78)</sup> Seit 1899 wird von der Bauunternehmung Philipp Holzmann & Cie. zu Frankfurt a. M. in Hamburg ein 4500 m langes, 2,4 und 3 m weites gemauertes Stammsiel mit Hilfe der Schildbauweise ausgeführt.

Herstellung des Tunnels erfolgen sollte, konnte der Vortrieb erst Ende Februar 1896 begonnen werden. Damit war die Hoffnung, die Tunnelanlage schon während der Ausstellung dem Betriebe übergeben zu können, vereitelt. Es gelang nur noch, bis zum Herbste desselben Jahres eine 160 m lange fertige Probestrecke den Behörden vorzuführen, die dann auch den Besuchern der Ausstellung, freilich nur als Schenswürdigkeit, zugänglich gemacht wurde. Die Tunnelarbeiten wurden sodann vorläufig eingestellt, um zunächst mit den Berliner Behörden über eine Weiterführung der Straßenbahn in das Innere der Stadt zu verhandeln. Aber alle in dieser Beziehung aufgewendeten Bemühungen verliefen ergebnislos und so entschloß sich denn die Gesellschaft, auch ohne die gewünschte Konzession den Tunnel in ganzer Ausdehnung auszubauen. Die Bauarbeiten wurden im September 1897 wieder aufgenommen und sind dann bis zu der Ende Februar 1899 erfolgten Vollendung des schwierigen Werkes ununterbrochen weitergeführt worden. Sie haben im ganzen, abgesehen von allen Mifshelligkeiten durch die Verzögerungen und Unterbrechungen, die der Gesellschaft erwachsen sind, einen Zeitraum von 2 1/2 Jahren erfordert.

Fig. 222 u. 223. *Der Spree-Tunnel bei Berlin.*

Fig. 222. *Längenschnitt.*

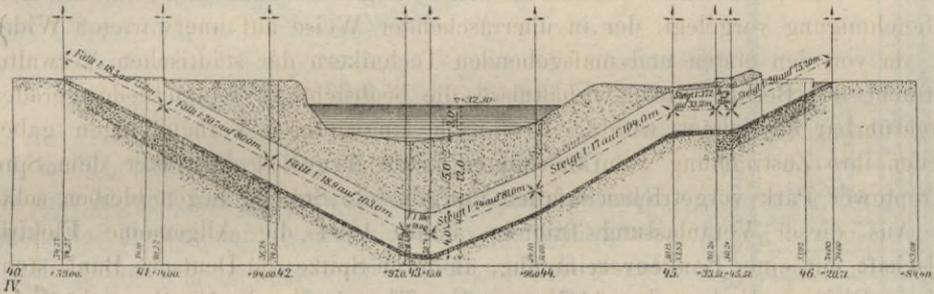
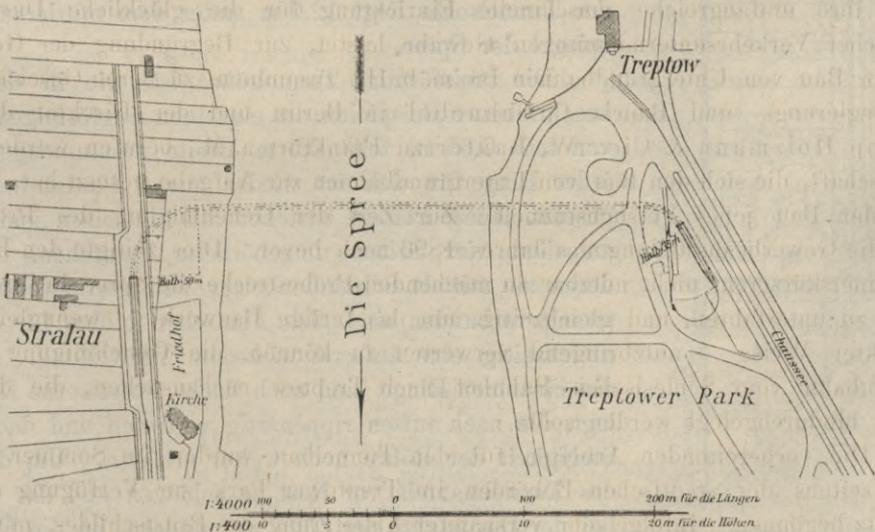


Fig. 223. *Lageplan.*



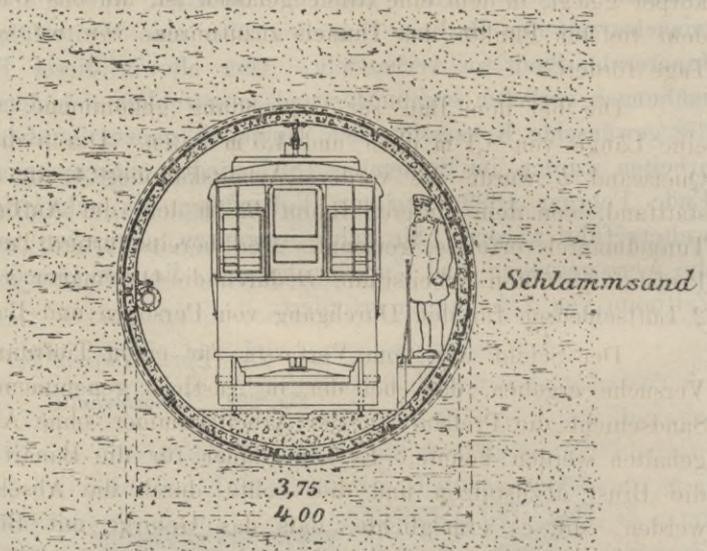
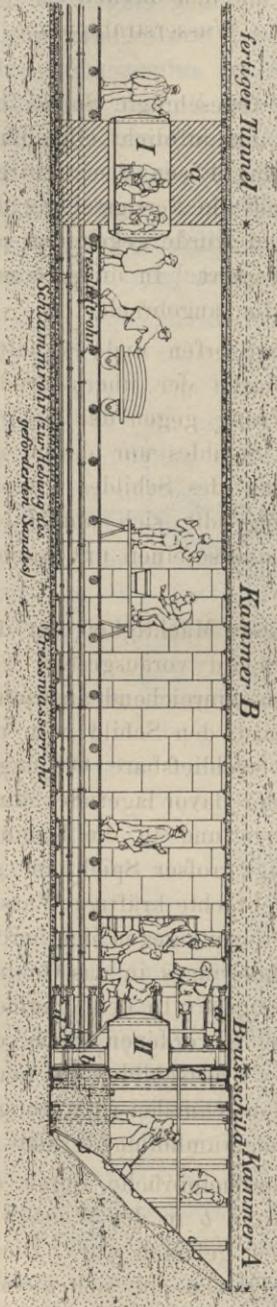
Die allgemeinen Verhältnisse des Spree-Tunnels mit den anschließenden offenen Rampen sind aus dem in Fig. 222 u. 223 dargestellten Höhen- und Lageplan ersichtlich,

während die Tunnelröhre selbst, sowie die Bauweise der letzteren in Fig. 224 u. 225 in Längenschnitt und Querschnitt dargestellt sind.

Fig. 224 u. 225. Bauausführung des Spree-Tunnels.

Fig. 224. Längenschnitt.

Fig. 225. Querschnitt.



Der 454 m lange Tunnel kreuzt den 195 m breiten Spreefluss annähernd rechtwinkelig und liegt in vom Wasser durchsättigtem, oben feinerem, in den unteren Schichten gröberem Sande. Seine Tiefenlage ist so gewählt, daß über dem 4,0 m weiten Tunnelrohre noch eine Sanddecke von mindestens 3,0 m Stärke vorhanden ist. Der tiefste Punkt der Tunnelsohle liegt 12,0 m unter dem mittleren Wasserspiegel der Spree.

Die kreisförmige Tunnelröhre ist, wie in den bereits beschriebenen Beispielen, aus einzelnen ringförmigen Gliedern von teils 0,65 m, teils 0,5 m Breite zusammengesetzt. Jeder Ring für sich ist wieder aus 9 Platten zusammengesetzt. Diese Platten bestehen aus Flußeisen und besitzen an allen vier Seiten umgebördelte Flanschen, mit Hilfe deren sie mittels Schraubenbolzen zum fortlaufenden Rohrstrang verbunden sind. Die Flanschen bilden für das Rohr gleichzeitig eine äußerst wirksame Versteifung. Zwischen die einzelnen Ringe sind noch flache flußeiserne Reifen gelegt, die nach außen rippenartig vortreten und dadurch die Steifigkeit der Röhre noch weiter erhöhen. Um das Eisen des Tunnelmantels vor Rost zu schützen und das Geräusch bei der Durchfahrt der Züge zu mindern, ist die Röhre mit

einem 8 cm starken äußeren und einem 12 cm starken inneren Überzuge aus Cementmörtel versehen worden.

Die lichte Weite des Tunnels ermäßigt sich infolge des inneren Überzuges auf 3,75 m, ein Maß, das für die Durchfahrt eines Straßenbahnwagens von der üblichen Größe noch vollkommen genügt. Neben den Wagen bleibt im Tunnel auch noch so viel freier Raum, daß in geeigneten Abständen Ausweicheplätze für das Bahnpersonal angeordnet werden konnten. Auf der Sohle des Tunnels ist das Gleis in einen Betonkörper gelegt, in dem eine Rinne gelassen ist, um das Wasser aus den offenen Rampen dem tiefsten Punkte des Tunnels zuzuführen, von wo es eine Wasserstrahlpumpe zu Tage fördert.

Der bei dem Bau zur Verwendung gekommene, vorn abgeschrägte Schild hat eine Länge von 8,1 m oben und 4,5 m unten. Durch die in ihm luftdicht eingebaute Querwand *b* wurde die vordere Arbeitskammer *A*, in der das Lösen des Gebirges stattfand, von dem hinteren Raum *B*, in dem der Aufbau und die Fertigstellung des Tunnelmantels erfolgte, getrennt. Der bereits fertige Tunnelteil wurde gegen den mit Prefsluft gefüllten Arbeitsraum *B* durch die Quermauer *a* abgesperrt. In dieser waren 2 Luftschleusen für den Durchgang von Personen und Baustoffen angebracht.

Der Schild war vom Verfasser für einen Tieftunnel entworfen und es hatten Versuche ergeben, daß bei der in Aussicht genommenen Stärke der überlagernden Sandschicht die Prefsluft in der Arbeitskammer ohne Absperrung gegen das Gebirge gehalten werden konnte. Es kam daher für die Bauart des Schildes nur darauf an, die Brust abzustützen und dies sollte durch die Abschrägung des Schildes erreicht werden, die es ermöglichte, daß das Gebirge mit Böschung, die sich unter dem Druck der Prefsluft ziemlich steil gestalten mußte, frei anstand und so einen unbehindert leichten Abbau gestattete.

Bei dem Versuchstunnel kam aber eine wesentlich geringere Mächtigkeit der den Tunnel überlagernden Sandschicht in Betracht, als für den Schild vorausgesetzt war. Sie ging bis auf 3 m hinunter und eine solche konnte nicht als hinreichend angesehen werden, die Prefsluft genügend abzuschließen. Dies führte dazu, den Schild vorn mit einer Abschlußwand *c* zu versehen, in der durch Schieber verschließbare Öffnungen angebracht waren. Diese wurden nacheinander geöffnet und der davor lagernde, durch die Wirkung der Prefsluft trocken gewordene Sand abgegraben und in die Kammer gefördert. War auf solche Weise vor dem Schilde ein mächtig großer Spielraum gewonnen, so wurde der Schild durch 16 an seinem Umfange angebrachte kräftige Wasserdruckpressen *d*, die sich einerseits gegen die Querwand *b*, andererseits gegen den bereits fertiggestellten Tunnelmantel stützten, um die Breite eines Tunnelringes in das Gebirge vorgeschoben. Dann wurden die Kolben der Pressen zurückgezogen. In dem nunmehr zwischen diesen und dem vorderen Ende des Tunnelmantels frei gewordenen Raum, der in der Zeichnung ersichtlich ist, wurde unter dem Schutze des Brustschildes ein neuer Ring eingebaut, der sodann durch Einstampfen von Mörtel in den schmalen ringförmigen Raum zwischen Tunnel und Schildmantel die erforderliche Cementumhüllung erhielt.

Den Gefahren etwaiger plötzlicher Wasser- und Schlammleinbrüche durch die geöffneten Klappen der Abschlußwand *c* war durch die Querwand *b* in der Weise vorgebeugt, daß letztere in ihrem oberen Drittel ohne Öffnungen gelassen war. Dieser obere Raum der Kammer *A* bildete also gleichsam eine Taucherglocke, die sich niemals ganz mit Wasser füllen konnte und so den Arbeitern stets eine sichere Zuflucht bot, aus der es in jedem Augenblick möglich war, durch ein bei *f* angebrachtes, leicht zu öffnendes Mannloch in die Kammer *B* überzusteigen.

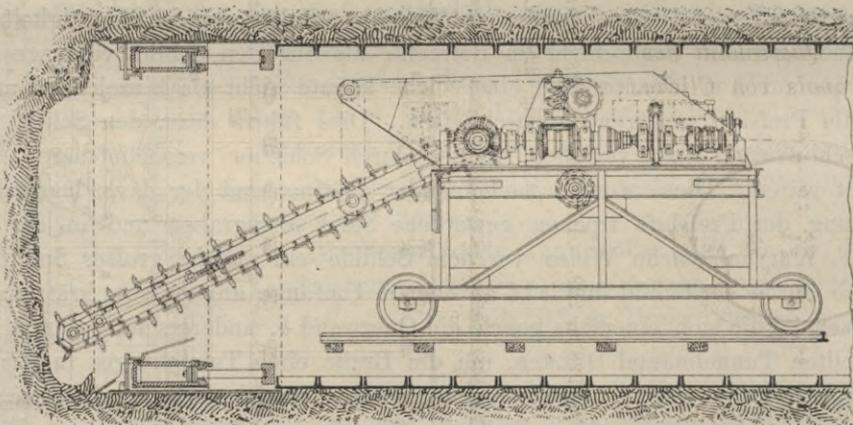
Durch elektrische Beleuchtung sämtlicher Arbeitsräume, durch telephonische Verbindung derselben untereinander und mit dem über Tage befindlichen Maschinenhaus und durch ununterbrochene Beaufsichtigung war dafür gesorgt, daß die Sicherheit der auszuführenden schwierigen Arbeiten allezeit in weitestgehender Weise gewährleistet blieb.

Auf die beschriebene Weise wurde die 374 m lange, unter dem Treptower Ufer und dem Spreeflufs gelegene Strecke des Tunnels hergestellt. Für die 80 m lange unter dem Stralauer Ufer gelegene und scharf gekrümmte Tunnelstrecke wurde von dem bergmännischen Vortrieb abgesehen und statt dessen der Einbau des Tunnels in offener mit Spundwänden eingeschlossener und in der Sohle durch Betonschichten gedichteter Baugrube bewerkstelligt (s. § 85).

11. Die **Central-London-Untergrundbahn**, die den Verkehr Londons in einer seiner Hauptrichtungen, zwischen Royal Exchange und Shepherds Bush, vermittelt, hat eine Länge von 10,5 km. Ihre Tunnel liegen bis auf einige unbedeutende Strecken in Thon; die Herstellung war daher mit besonderen Schwierigkeiten nicht verknüpft. Die beiden Gleise der Bahn sind in getrennten eisernen Tunneln geführt, die eine lichte Weite von 3,51 m haben. Die Stationstunnel — meist auch eingleisig — haben eine Lichtweite von 6,45 m. Die Tiefenlage der Stationen schwankt zwischen 18 und 28 m.

Der Tunnelvortrieb erfolgte durch Greathead'sche Schilde gewöhnlicher Bauart, von denen die Stationsschilde 6,95 m Durchmesser und 2,66 m Länge, die Tunnelschilde 3,9 m äußeren Durchmesser und 2,13 m Länge hatten.

Fig. 226. *Elektrischer Trockenbagger des Central-London-Tunnels.*

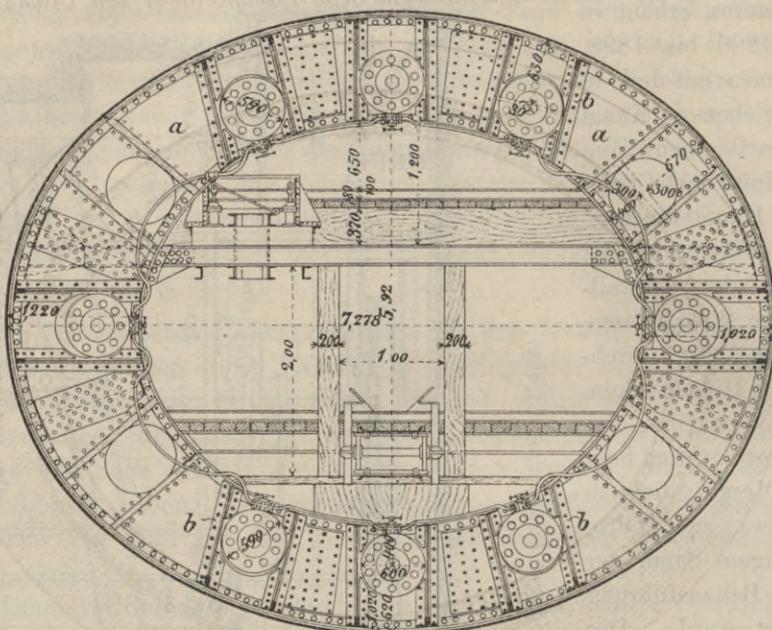


Von besonderem Interesse ist die Gewinnung des Bodens vor Ort mit Hilfe eines auf Gleisen fahrbaren elektrischen Trockenbaggers, s. Fig. 226<sup>79)</sup>, dessen Leiter in senkrechter und wagerechter Richtung beweglich war und verlängert und verkürzt werden konnte. Die elektrische Antriebsmaschine arbeitete mit 100 Ampère bei 200 Volt Spannung. Während des Einsetzens eines neuen Ringes wurde der Bagger zurückgezogen. In gewöhnlichem Betrieb wurden in 10 Stunden 3 Tunnelringe von je 51 cm Breite eingesetzt und es waren hierbei, sowie für die Bedienung des Baggers im ganzen nur 6 Mann thätig.

<sup>79)</sup> Aus Engineer 1898, S. 490.



Fig. 229. Querschnitt.

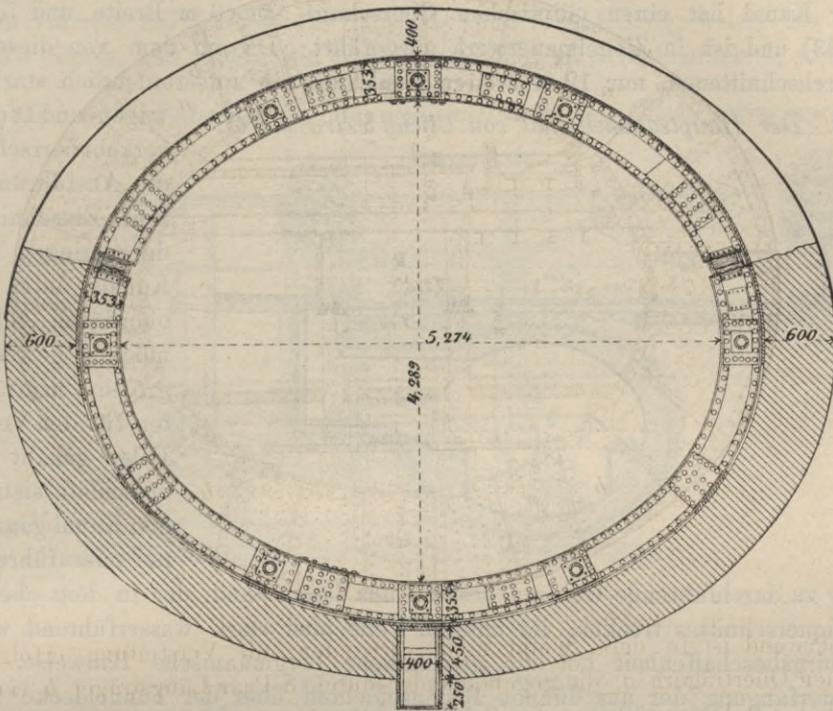


Eine Querwand ist in dem Schild nicht vorhanden; die Versteifung erfolgt auf zwei elliptischen Querträgern *a*, die gegeneinander durch 8 Paar Längsträger *b* versteift sind. Diese sind zur Unterstützung des Schildmantels jenseits der Querträger konsolförmig verlängert. Zwischen den Längsträgerpaaren liegen die 8 Wasserdruckpressen. Der vordere Teil des Schildes ist durch 2 Arbeitsböden, von denen der untere um 0,70 m gegen den oberen zurückspringt, in drei Geschosse zerlegt. Im mittleren Teil dient der obere Boden zur Aufnahme der elektrischen Motoren und der Wasserdruckpressen. Von den Arbeitsböden des hinteren Schildraumes aus erfolgt die Mauerung des Gewölbes, das in Ringen von 60 cm derart hergestellt wurde, daß zwei Maurer die Sohle des vordersten Ringes, eine zweite Abteilung die Seitenteile des zweiten Ringes und eine dritte Abteilung das Gewölbe des letzten Ringes herstellte. Auf diese Weise vollzog sich die Mauerung ohne jede Schwierigkeit.

Die Wasserdruckpressen stützten sich nicht gegen das fertige Mauerwerk, sondern gegen die eisernen Lehrbögen (s. Fig. 230), von denen jeder aus 4 Teilen bestand, wovon die beiden oberen und unteren miteinander verlascht wurden. Die oberen und unteren Lehrbogenhälften waren im übrigen durch Schraubenbolzen miteinander verbunden und erhielten zur Erleichterung der Ausrüstung eine Zwischenlage von Holzkeilen.

Um den Druck der Pressen aufnehmen zu können, wurden in ihrer Verlängerung zwischen den 30 hintereinander stehenden Lehrbögen gusseiserne röhrenförmige Stützkörper angebracht, von denen jeder vierte mit dem Mauerwerk verankert werden konnte (s. Fig. 231 u. 232). Diese Verankerungen wurden aber erst durch Anziehen der Schraubenbolzen in Betrieb gesetzt, nachdem das Mauerwerk die nötige Festigkeit erlangt hatte.

Um den Fortgang der Maurerarbeiten durch die Bodenförderung nicht zu stören, war ein Förderband angebracht, das den vor Ort gelösten Boden aufnahm und 25 m weit nach hinten transportierte. Das vordere Ende des Fördergestells war mit dem Schild

Fig. 230. *Eiserne Lehrbögen beim Sammelkanal von Clichy.*

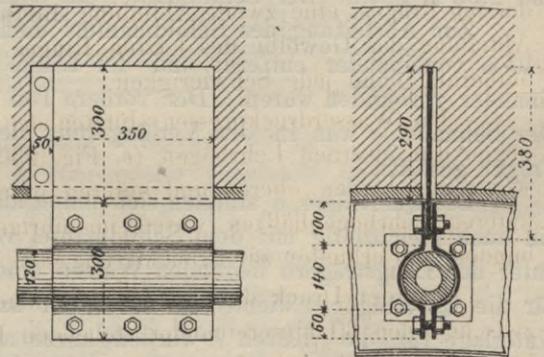
fest verbunden (s. Fig. 228) und ruhte mit dem hinteren Ende auf einem Wagen, auf dem sich auch der Motor befand. Das Förderband lag so hoch, daß unter demselben ein ganzer Zug Förderwagen Platz fand. Die Wagen wurden durch eine elektrische Lokomotive aus dem Tunnel gebracht.

Die Maurermaterialien wurden auf den beiderseitigen, etwa in halber Höhe des fertigen Tunnels liegenden Fußwegen (s. Fig. 227) gelagert. Dasselbst fand auch die Bereitung des Mörtels statt. Auf die Bühne führt mit Hilfe einer Rampe ein Gleis. Die Wagen wurden mittels einer Winde hinaufgezogen. So war die Bodenförderung von der Materialzufuhr vollständig getrennt, was für den ungestörten Fortgang der Arbeiten von größter Bedeutung war und sich bestens bewährt hat.

Zur Belüftung der Arbeitsstelle war ein Ventilator aufgestellt, der 170 cbm Luft in der Stunde lieferte und von dem aus der Arbeitsstelle die Luft in einem 25 cm weiten Rohr zugeführt wurde. Der mittlere Fortschritt betrug 3,20 m täglich.

§ 84. **Anwendung von Teilschilden.** Ein bemerkenswertes Beispiel für die Ausführung eines Tunnels nach belgischer Bauweise unter Anwendung eines Teilschildes bietet der einen Teil des Pariser Kanalisationsnetzes bildende Hauptsammel-

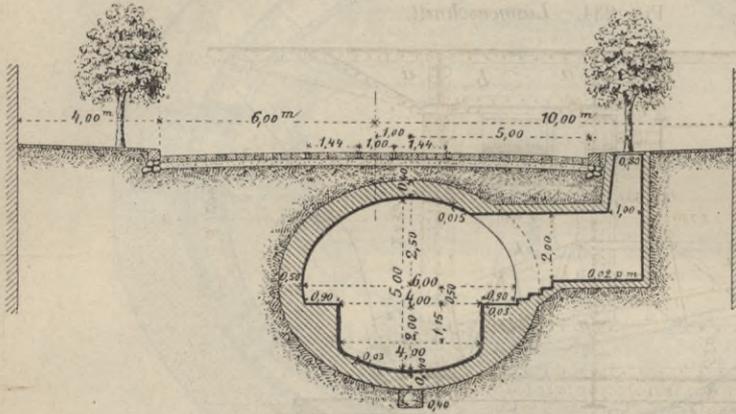
Fig. 231 u. 232. *Verankerung der Lehrbögen.*  
 Fig. 231. *Längenschnitt.* Fig. 232. *Querschnitt.*



kanal von Clichy extra muros, der in den Jahren 1895 bis 1897 erbaut ist und die außerhalb der Befestigungsmauern gelegene Strecke des Hauptsammelkanals umfaßt.

Der Kanal hat einen elliptischen Querschnitt von 6 m Breite und 5 m Höhe (s. Fig. 233) und ist in Ziegelmauerwerk ausgeführt. Da auf dem von dieser Kanalstrecke durchschnittenen, nur 12 m breiten Boulevard ein außerordentlich starker Last-

Fig. 233. Der Hauptsammelkanal von Clichy extra muros.



wagen- und Pferdebahnverkehr herrscht, so hätte die Ausführung im offenen Einschnitt, die bei der geringen Tiefe des Kanals unter Straßenoberfläche sehr wohl möglich gewesen wäre, große Unzuträglichkeiten für den Verkehr zur Folge gehabt und man entschloß sich deshalb, den Kanal ganz als Tunnel auszuführen.

Das zu durchfahrende Gebirge bestand aus losem Sand, der in dem oberen Teile des Tunnelquerschnittes trocken, im unteren Teile aber stark wasserführend war. Bei dieser Gebirgsbeschaffenheit bot die gewöhnliche bergmännische Bauweise, die eine sichere Unterfangung der nur dünnen Bodenschichten über der Tunneldecke nicht gewährleistete, nicht ausreichende Sicherheit und man schritt daher zu einer Ausführung, bei der zunächst die oberen trockenen Bodenschichten unter dem Schutze eines halb-elliptischen Schildes abgebaut, dann dieser obere, freigelegte Teil ausgemauert wurde, wogegen der untere, in den wasserführenden Schichten liegende Teil der Tunnelausmauerung unter dem Schutze des fertigen Gewölbes in gewöhnlicher Weise hergestellt wurde. Der für diesen Zweck gefertigte Schild (s. Fig. 234 u. 235) war 7,25 m breit und 2,95 m hoch. Der Schildmantel aus Stahlblech hatte eine Stärke von 14 mm.

Zur Absteifung des Schildmantels dienten zwei halbelliptische Querträger *a*, die 1,40 m voneinander entfernt und der Länge nach durch 12 Versteifungsträger *b* miteinander verbunden waren. Der vordere Teil des Schildes war schnabelförmig gestaltet. Der Schnabel *c* war in der Verlängerung der Versteifungsträger *b* durch konsolartige Träger gestützt.

Die Querträger *a* stützten sich unten auf 2 Längsträger *d*, an deren unterer Seite ein auch gleichzeitig mit dem Schildmantel verbundenes Blech angenietet war, das den unter den Längsträgern liegenden Walzen eine glatte Lauffläche bot. Als Querverband für die Querträger *a* diente ein an deren unterem Ende angebrachter Träger *f*. Als Unterlage für die Walzen *e* wurden kurze mit Eisen beschlagene Bohlstücke, die mit Verblattung ineinandergriffen, verlegt.

Um den vor Ort gewonnenen Boden hinter den Schild in die Fördergefäße zu schaffen, war in dem Schild ein Fördergestell *k* angebracht, in dem über zwei Rollen *h* ein Förderband *i* lief.

Der Vorschub des Schildes geschah mit Hilfe von 6 Wasserdruckpressen *p*, die an den Querträgern *a* befestigt waren. Das Druckwasser wurde durch 4 Pumpen *m*, die durch einen elektrischen Motor angetrieben wurden, erzeugt. Die Stempel dieser

Pressen umfaßten mittels Doppelschrauben einen elliptisch geformten, beweglichen Träger *l* (Fig. 234), der unten auf den Längsträgern *d* gleiten konnte und den Zweck hatte, beim Vortrieb des Schildes das Ende der Tunnelverschalung, welche die vorläufige Tunneldecke bildete, und gleichzeitig den hinteren Teil des Schildmantels zu unterstützen.

Fig. 234 u. 235. Teilschild des Hauptsammelkanals von Clichy extra muros.

Fig. 234. Längenschnitt.

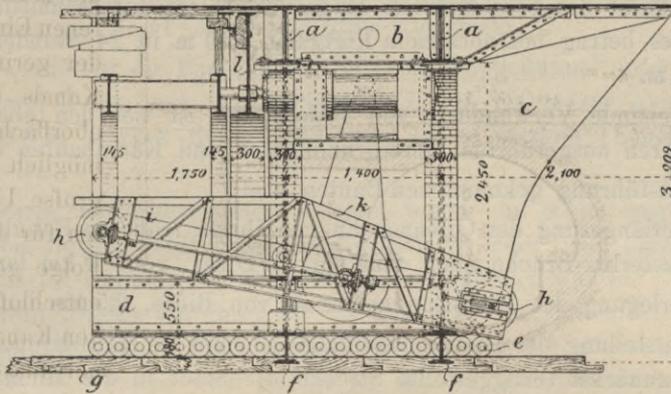
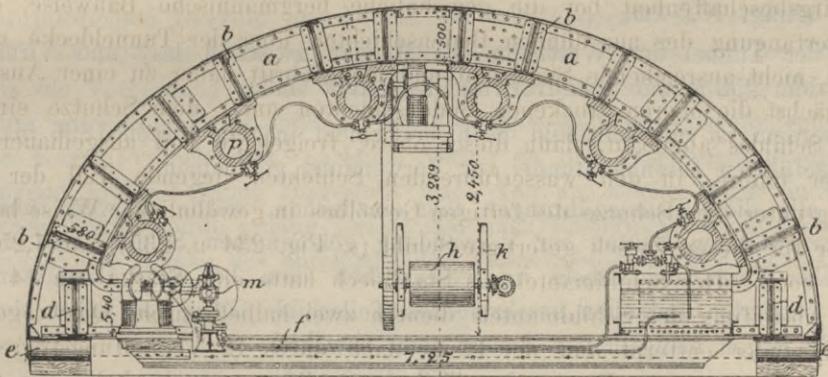
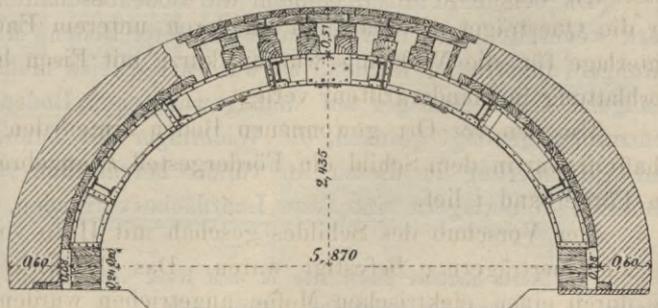


Fig. 235. Hinteransicht.



Die Lehrbögen für die Tunnelausmauerung bestanden wiederum aus elliptischen eisernen Blechträgern (s. Fig. 236), die 1 m voneinander aufgestellt und durch Längsträger miteinander verbunden waren. Stets wurden 30 solcher Lehrbögen hintereinander aufgestellt, was deshalb nötig war, weil sich die Stempel der Druckwasserpressen unmittelbar gegen den ersten Lehrbogen stützten und diesen durch die dahinter liegenden gegeneinander versteiften Lehrbögen die nötige Widerstandsfähigkeit gegen den Pressendruck gegeben werden mußte. Im übrigen ergibt

Fig. 236. Lehrbogen.



sich die Art der vorläufigen Unterstützung der Tunneldecke, sowie der Vorgang bei der Ausmauerung aus Fig. 236, die Ausmauerung folgte dem Schilde in einer Entfernung von 10 bis 20 m.

Die letztgenannte Ausführung war ziemlich kostspielig und sie verhinderte nicht einmal den Absturz von Boden, der sich häufig bis auf die Straßenoberfläche hin fortsetzte. Man hat deshalb bei der auf S. 263 bis 265 beschriebenen Fortsetzung dieses Kanals innerhalb der Stadt unter Anwendung eines anderen Schildes, eines Vollschildes, das Mauerwerk im Schutze des Schildmantels ausgeführt. Der durchschnittliche Fortschritt des Schildvortriebes betrug bei normalem Fortgang 5,45 m in 24 Stunden und steigerte sich bis auf 9,10 m.

Eine weitgehende Verwendung von Teilschilden ist bei den ebenfalls in Paris in den letzten Jahren ausgeführten Untergrundbauten und Kanalbauten erfolgt.<sup>80)</sup>

Die zur Ausführung gekommenen Bauten sind:

1. Die Verlängerung der Orléansbahn von ihrem früheren Bahnhof in der Nähe der Austerlitz-Brücke nach dem Quai d'Orsay, rund 4 km lang,
2. die Verlegung des Hauptsammelkanals von Bière, 2,5 km lang,
3. die Herstellung der Pariser Stadtbahn (chemin de fer métropolitain de Paris), deren zunächst fertiggestellte Strecke die Stadt in der Richtung von Osten nach Westen zwischen dem Thor von Vincennes und dem Maillot-Thor durchkreuzt, wobei sie im wesentlichen den Hauptverkehrsstraßen folgt; die Länge beträgt 10,5 km,
4. der Tunnel der Westbahn bei Meudon zwischen Issy und Viroflay, von dem 256 m mit Schildvortrieb hergestellt sind.

Außerdem ist ein Teilschild noch bei einem in den Jahren 1896 bis 1898 in Boston ausgeführten Eisenbahntunnel zur Verwendung gekommen.

Auf alle diese Bauausführungen hier einzugehen, würde zu weit führen. Die bei den vorerwähnten Bauten zur Verwendung gekommenen Schilde sind meist von halbelliptischer Form und ähneln im wesentlichen dem bei dem Hauptsammelkanal von Clichy benutzten und oben beschriebenen Teilschild. Zum Teil haben sich jedoch diese Schilde wegen mangelhafter Bauart nicht bewährt.

Die Auskleidung der Tunnel ist durchweg in Mauerwerk erfolgt. Versuche, die mit der Verwendung von Beton gemacht worden sind, haben zu einem befriedigenden Ergebnis nicht geführt, namentlich weil der frische Beton dem Druck der Pressen nicht zu widerstehen vermochte, dann aber auch, weil er an dem Schildmantel haftete und so dessen Vortrieb sehr erschwerte oder unmöglich machte.

Da bei den Pariser Tunneln die Bodenbeschaffenheit innerhalb des Stadtgebietes stark wechselte, auch vielfach aufgeschütteter Boden, Mauerreste, alte Kanäle und Rohrleitungen angetroffen wurden, so war es teilweise nicht möglich, den Schilden überall genügend festes Auflager auf dem gewachsenen Boden zu schaffen und man hat sich demzufolge genötigt gesehen, die Widerlager des Tunnels durch Vortreiben von Stollen und Aufmauerung in diesen im voraus herzustellen, sodafs die Schilde auf den gemauerten Widerlagern eine feste Lauffläche vorfanden.

<sup>80)</sup> Näheres hierüber findet sich in dem Werk von Philippe René: „Le bouclier et les méthodes nouvelles de percement des souterrains“. Paris 1900.

§ 85. **Tunnelausführungen in offenen Einschnitten mit Hilfe von Abschlusswänden.** Diese Art der Bauausführung ist mehrfach zur Anwendung gekommen, namentlich bei Tunneln im Grundwasser oder offenem Wasser. Sie entspricht in diesen Fällen vollständig den Fangedamarbeiten bei Brückenbauten und empfiehlt sich wie hier bei geringen Einschnitts- und Wassertiefen (vergl. Fig. 1, Taf. VII).

In dieser Weise wurden 1869 bis 1871 zwei Straßentunnel unter dem 65 m breiten Chicago-Flusse in Chicago hergestellt, von denen in Fig. 25 bis 27, Taf. VIII Querschnitt, Längenschnitt und Grundriß gegeben sind. Sie wurden gegen Beschädigung durch Schiffsanker und dergl. mit Steinplatten abgedeckt.

Ebenso wurde für die East-London-Bahn ein Doppeltunnel unter dem Victoriadock in London in zwei Teilen mit einer Gesamtlänge von 190 m zur Ausführung gebracht, der mit einer 0,6 m starken Beton- und einer 1,0 m starken Thonschicht als Schutzdecke versehen ist.

Ein weiteres bemerkenswertes Beispiel bietet die 80 m lange Endstrecke des Spree-Tunnels bei Berlin (vergl. § 83), s. Fig. 237 bis 240. Die einzurammende Länge der Pfähle wechselte von 6,5 bis 11 m, die Nafsbaggerung war auf Tiefen von 4,5 bis 9 m durchzuführen. Dieses Verfahren ist für den höher liegenden Teil der Strecke ohne Anstand durchgeführt worden; innerhalb des tieferen, dem Spreeflusse benachbarten Teiles von 30 m Länge aber erwies sich infolge zu starken Auftriebes des auszubaggernden Bodens die Dichthaltung der 9,5 bis 11 m langen Spundwände als schwierig. Man teilte daher diese Strecke durch Querwände in drei etwa 10 m lange Kästen, versah diese mit luftdichten Deckeln und konnte sie nun bequem mit Preßluft füllen, mit deren Hilfe die trockene Förderung des Bodens und die Betonierung der Sohle gelang.

Um die Verbindung der in verschiedener Bauweise ausgeführten Tunnelstrecken herzustellen, wurde der Brustschild in den dem Spreefluß zunächst liegenden der drei erwähnten Kästen vorgetrieben, nachdem vorher in der Abschlusswand des letzteren eine genügend große Öffnung hergestellt war. Der auf solche Weise in den Kasten vorgetriebene Schild wurde sodann zerlegt und nach Entfernung des Kastendeckels beseitigt, worauf der Einbau des durchgehenden Tunnelrohres erfolgen konnte.

Fig. 237 bis 240. *Spree-Tunnel bei Berlin.*

Fig. 237. *Längenschnitt der Baugruben.* M. 1 : 300.

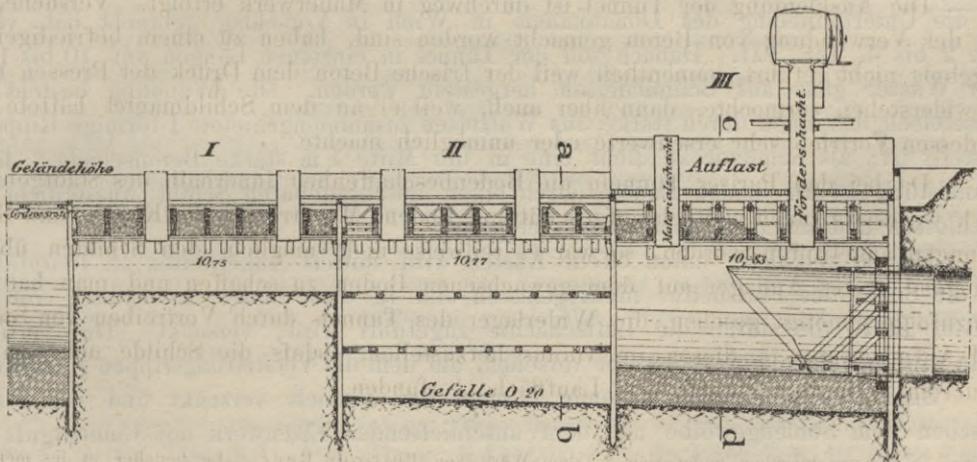


Fig. 238. Grundrifs. M. 1:300.

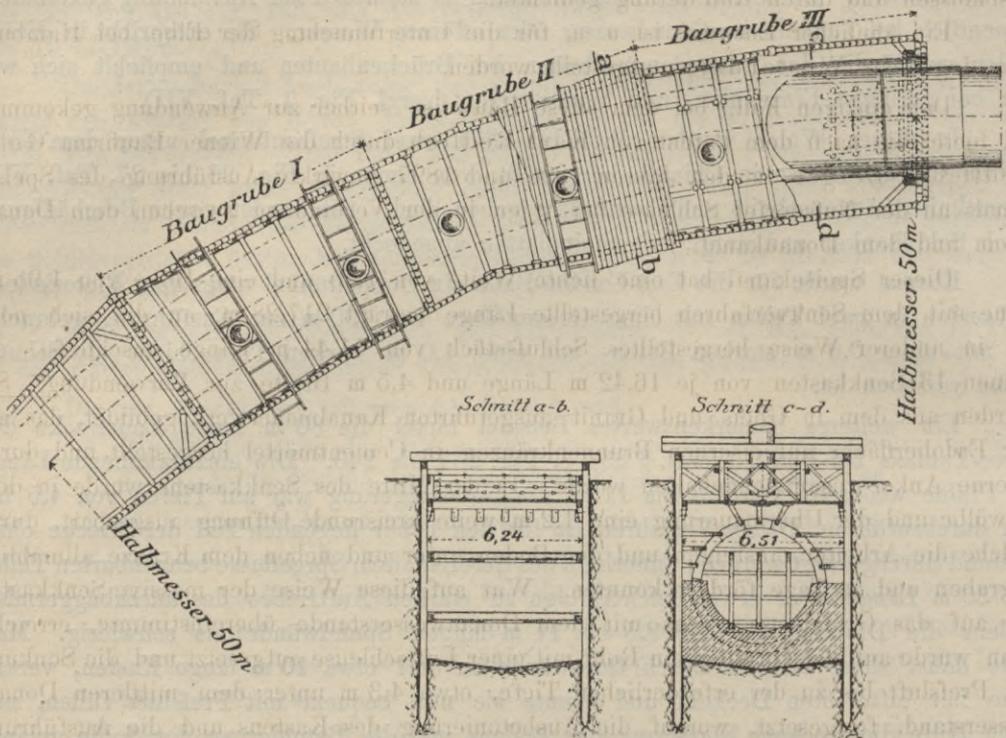


Fig. 239.

Fig. 240.

### § 86. Ausführung mittels Senkkasten unter Anwendung von Prefsluft.

Diese Bauweise hat seither allerdings nur erst bei einem Kanal mit geringem Querschnitt Anwendung gefunden, dennoch erscheint es wünschenswert, hier darauf hinzuweisen, denn ihre Ausführbarkeit auch für Tunnel mit großem und größtem Querschnitt kann nicht bezweifelt werden, und wurde sie größeren Entwürfen zu Grunde gelegt, deren Ausführung nicht unwahrscheinlich ist.

Als Beispiel soll der zu den ersten dieser Art gehörige Entwurf von Professor E. Winkler angeführt werden, den er in seinem Plane für die Wiener Tunnelbahn für die Untertunnelung des Donaukanals in Wien in Vorschlag gebracht hat, vergl. Fig. 2 bis 4, Taf. VII. Danach soll der Tunnel in einzelnen Längen von 10 bis 15 m über Wasser ganz aus Schmiedeisen hergestellt werden. Die Wandung besteht aus Kesselblech, das innen durch starke, aus Walzeisen zusammengenietete I-förmige Rippen  $r$  versteift ist; als Schutzdecke dient eine in der Mitte 1 m starke Betonschicht. Jedes Tunnelstück ist an beiden Enden durch einen abschraubbaren Schild wasserdicht abgeschlossen und innen vorübergehend verspreizt.

Der so gebildete, unten offene Kasten wird mittels Ankerketten an Leitpfählen auf die Sohle des Flußbettes niedergelassen und in diese unter Anwendung von geprefster Luft, die durch die Luftschächte zugeführt wird, versenkt. Die vertiefte Sohle wird mit einem Sohlengewölbe versehen, auf dem die Versteifungsrippen  $r$  aufruhcn.

Sind zwei aneinanderstossende Längen des Tunnels versenkt und die Fugen zwischen dem Sohlengewölbe und dem anschließenden Eisenwerk mit Cementgufs gedichtet, dann werden die inneren Brustschilder beseitigt; der Schlitz zwischen beiden

Tunnelteilen wird durch Aufnieten von Winkeleisen und Blechen (Fig. 4, Taf. VII) geschlossen und durch Kalfaterung gedichtet.

Ein ähnlicher Entwurf ist u. a. für die Untertunnelung der Elbe bei Hamburg vom Ingenieur Westendarp aufgestellt worden.

Den einzigen Fall, bei dem diese Bauweise seither zur Anwendung gekommen ist, bietet die nach dem Patent von Karl Redlich durch die Wiener Baufirma Gebr. Redlich & Berger in den Jahren 1896 und 1897 bewirkte Ausführung des Speisekanals an der Nufsdorfer Schleuse bei Wien in der Verbindung zwischen dem Donaustrom und dem Donaukanal.<sup>81)</sup>

Dieser Speisekanal hat eine lichte Weite von 1,75 und eine Höhe von 1,95 m; seine mit dem Senkverfahren hergestellte Länge beträgt 217,28 m, an die sich noch ein in anderer Weise hergestelltes Schlufsstück von 11,44 m Länge anschliesst. Es kamen 13 Senkkasten von je 16,42 m Länge und 4,5 m Breite zur Verwendung. Sie wurden aus dem in Gneis und Granit ausgeführten Kanalmauerwerk gebildet, das auf der Erdoberfläche auf eisernen Brunnenkränzen in Cementmörtel hergestellt und durch eiserne Anker zusammengehalten wurde. In der Mitte des Senkkastens wurde in dem Gewölbe und der Übermauerung eine 1,2 m weite kreisrunde Öffnung ausgespart, durch welche die Arbeiter einsteigen und den Boden unter und neben dem Kranze allmählich abgraben und zu Tage fördern konnten. War auf diese Weise der massive Senkkasten bis auf das Grundwasser, das mit dem Donauwasserstande übereinstimmte, erreicht, dann wurde auf der Öffnung ein Rohr mit einer Luftschleuse aufgesetzt und die Senkung mit Pressluft bis zu der erforderlichen Tiefe, etwa 4,3 m unter dem mittleren Donauwasserstand, fortgesetzt, worauf die Ausbetonierung des Kastens und die Ausführung der Kanalsohle erfolgte, womit eine 16 m lange Kanalstrecke fertiggestellt war. Die Öffnung in der Wölbung wurde nur bei einigen Senkkästen zugemauert, bei anderen wurde das Mantelmauerwerk der Schachtrohre nach Entfernung der letzteren bis auf die Geländehöhe hinaufgeführt und dient als Einsteigöffnung für die Kanaluntersuchung und für Ausbesserungen.

Das zu versenkende Kanalstück nahm auf dem Wege in die Tiefe zwei senkrechte, etwa 30 cm starke, an den Ecken der Stirnseiten am Mauerwerk befestigte Pfähle mit hinab, an denen der nächste Senkkasten hinabglitt. Der zwischen zwei Kanalstücken verbleibende Zwischenraum war durch die Pfähle abgeschlossen; er wurde, soweit dies nicht schon durch Hineinziehen des Materials beim Versenken geschehen war, durch Baggerung von Tag aus vollständig ausgehoben und unter Wasser bis zur Höhe des Sohlenpflasters mit Beton ausgefüllt. Das Kanalmauerwerk in dem Zwischenraum wurde dann nach Auspumpen des letzteren im Trockenen hergestellt. Nach Beseitigung der aus leichtem Mauerwerk bestehenden Stirnmauern in der Fläche des Kanals war die Verbindung der aneinanderstossenden Kanalstücke hergestellt.

Im besonderen ist noch zu bemerken, dafs, wie aus den Fig. 241 bis 243 ersichtlich, das Mauerwerk an den beiden Stirnenden der Senkkasten nicht senkrecht hochgeführt, sondern zurückgetreppst und mit Verzahnung stehen gelassen wurde, wodurch ein genügend grosser Arbeitsraum geschaffen wurde, um den Zwischenraum zwischen den Senkkasten ausmauern zu können.

<sup>81)</sup> L. Brennecke. Die Umwandlung des Wiener Donaukanals in einen Handels- und Winterhafen. Centralbl. d. Bauverw. 1897, S. 41, 54 u. 78. — S. Taussig. Über die Umwandlung des Wiener Donaukanals in einen Handels- und Winterhafen. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1897, No. 14 u. 15.

Fig. 241 bis 243. Speisekanal an der Nufsdorfer Schleuse.

Fig. 241. Querschnitt.

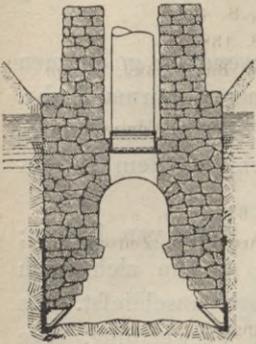


Fig. 242. Längenschnitt.

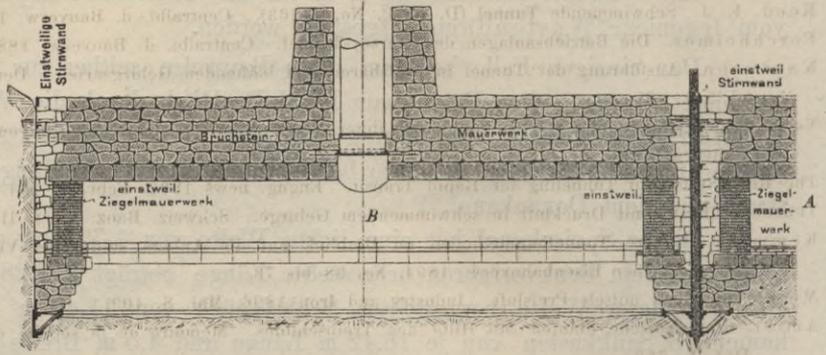
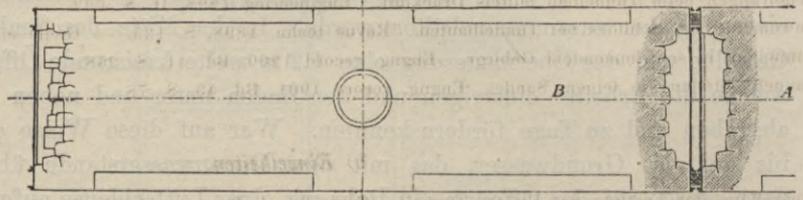


Fig. 243. Grundrißs.

Senkkasten *A* zeigt die Gründung beendend und die Luft abgelassen.

Senkkasten *B* ist noch angeblasen unmittelbar vor Betonierung der Sohle.



Um zu verhüten, daß bei dem Versenken eines Kastens das dem fertig versenkten benachbarten Kasten abgekehrte, mit Verzahnung versehene Stirnende abrifs, hat man diese Stirnmauern vorübergehend durch eine eiserne, durch Winkel versteifte Stirnwand geschlossen, die zwischen eisernen Falzen lag und nach dem erfolgten Versenken herausgezogen werden konnte.

### Litteratur,

#### Tunnelbauten mit besonderen Hilfsmitteln betreffend.

##### 1. Selbständige Werke und Einzelschriften.

Rziha. Tunnelbau. Berlin 1863/71.

Schön. Tunnelbau. 2. Aufl. Wien 1874. Kap. XVIII, S. 268.

v. Hesse. Der unterseeische Tunnel zwischen England und Frankreich, vom geologischen, technischen und finanziellen Standpunkte beleuchtet. Leipzig 1875.

Rziha. Eisenbahn-Unter- und Oberbau, 1. Bd. Wien 1876.

Dolezalek. Submarine Tunnel. Meyer's Konversations-Lexikon, Suppl. 1883.

Forchheimer. Englische Tunnelbauten bei Untergrundbahnen, sowie unter Flüssen und Meeresarmen. Aachen 1884.

Drinker. Tunneling. New-York 1884.

Dolezalek. Tunnelbau. Hannover 1890.

Troske, L. Die Londoner Untergrundbahnen. Berlin 1892.

Legouéz. De l'emploi du bouclier dans la construction des souterrains. Paris, Libr. polytechn., Baudry et Cie. 1897.

Ph. René, Le bouclier et les méthodes nouvelles de percement des souterrains. Paris, Librairie polytechn., Béranger, 1900.

##### 2. Abhandlungen in Zeitschriften.

###### a) Allgemeines.

Über Tunnelbauten unter Wasser. Building news 1876, S. 284.

Forchheimer. Vortrag über Tunnelbauten unter Wasser. Deutsche Bauz. 1881, S. 366.

Unterwasser-Tunnel, die nicht im Boden versenkt werden. Railroad gazette 1885, April, S. 244.

- Anwendung des Gefrierverfahrens von Kapt. Lindmark beim Bau des Brunkeberg-Tunnels in Stockholm. Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 537; 1886, S. 7 u. 38.
- Über den Bau großer Tunnel mittels gepresster Luft. Schweiz. Bauz. 1887, I. S. 43.
- Reed, E. J. Schwimmende Tunnel (D. R. P. No. 47263). Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 494.
- Forchheimer. Die Betriebsanlagen des Mersey-Tunnel. Centralbl. d. Bauverw. 1888, S. 138.
- Kaufmann. Ausführung der Tunnel in pfeisbaren und blähenden Gebirgsarten. Deutsche Bauz. 1889, S. 300 u. 311.
- Verfahren zur Herstellung von Tunnelbauten unter Wasser mittels einer keilförmigen Stirnwand. Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 416.
- The Reno-System of Tunneling for Rapid Transit. Engng. news 1892, Febr. S. 204.
- Tunnelausführung mit Druckluft in schwimmendem Gebirge. Schweiz. Bauz. 1894, II. S. 67 u. 75.
- Kemmann. Neuere Tunnelbaumethoden im Hinblick auf die Anlage städtischer Verkehrsmittel. Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahnverw. 1894, No. 38 bis 73.
- Moir. Tunnelbau mittels Prefluft. Industry and Iron 1896, Mai, S. 409.
- Amiot. Unterirdische Bauten mit Hilfe des Treibschildes. Mémoire de la société des ingénieurs civils 1897, Dec. S. 782.
- Lauter. Zur Frage des Einspritzens von Cement in wasserhaltigen Boden. Centralbl. d. Bauverw. 1898, S. 599.
- Erfahrungen beim Tunnelbau mittels Druckluft. Engineering 1898, II. S. 632.
- Anwendung des Schildes bei Tunnelbauten. Revue techn. 1898, S. 135. — Génie civil 1898, Bd. 32, S. 328.
- Tunnelbau in schwimmendem Gebirge. Engng. record 1900, Bd. 41, S. 268.
- Tunnelherstellung in feinem Sande. Engng. record 1901, Bd. 43, S. 78.

#### b) Einzelheiten.

- Herstellung der Leibung des Hudson-Tunnels. Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 100.
- Entwurf eines Tunnelschildes zum Vortrieb in weichem Gestein. Engng. news 1892, I. S. 276.
- Schild zum Vortreiben von Tunneln, D. R. P. No. 66300 von Th. Hoech in Washington. Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 68.
- Neuer Schild zur Tunnelbohrung. Génie civil 1894, Bd. 25, S. 150.
- Hydraulic shield for the Blackwall-Tunnel under the Thames. Engng. news 1895, 25. Aug., S. 115.
- Druckwasser-Schild für Untertunnelungen von geringer Tiefe, insbesondere für Kanäle und Untergrundbahnen. Engng. news 1896, II. S. 28.
- Treibschild für die Tunneldecke des Bostoner Tunnels. Engng. news 1897, I. S. 388.
- Tunnelarbeiten mittels Schild für Abzugskanäle in Melbourne. Engng. record 1898, Bd. 38, S. 424 u. 470. — Engineer 1898, II. S. 601. — Engng. news 1898, II. S. 410.
- Untertunnelung mittels Schildes für die Untergrundbahn zu Boston. Engng. record 1898, Bd. 37, S. 274.
- Tunnelschild von Hastings. Engng. news 1899, II. S. 76.
- Schild zum Bohren eines Sieles zu Chicago. Engng. record 1899, Bd. 40, S. 241.
- Straßenuntertunnelung mittels des Schildes von Chagnaud. Génie civil 1899, Bd. 34, S. 225.
- Tunnelarbeiten mit dem Schilde. Engng. record 1900, Bd. 42, S. 36.
- Schild des East Boston-Tunnels. Engng. record 1900, Bd. 42, S. 616.
- Schild des Hastings-Tunnels für die Abzugskanäle in Chicago. Engng. record 1901, Bd. 43, S. 52.
- Anwendung des hydraulischen Schildes für den Kanalbau in Melbourne. Engng. news 1901, Bd. 45, S. 106.
- Anwendung der Schilde für die Ausführung der Tunnel. Revue techn. 1901, S. 197, 222, 248.

#### c) Ausführungen einzelner Unterwasser-Tunnel.

- Der neue Themse-Tunnel in London. Engineer 1870, I. S. 92, 138, 191, 203, 271. — Builder 1870, S. 141. — Engineering 1871, S. 7 u. 36. — Ann. des ponts et chaussées 1870, I. S. 520. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1871, S. 12.
- Der Attock-Tunnel unter dem Indus. Engineer 1870, S. 204.
- Der Detroit-Tunnel im Staate Michigan. Nouv. ann. de la constr. 1870, S. 77. — Scientific american 1871, S. 225; 1872, S. 80; 1874, S. 209. — Deutsche Bauz. 1871, S. 25. — Journal of the Franklin Institute 1871, S. 221; 1872, S. 77 u. 294. — Engineering 1872, S. 63 u. 384.
- Der Tunnel unter dem Chicago-Fluss. Mech. Magaz. 1871, Juli, S. 36.
- Der Tunnel unter dem Michigan-See bei Chicago. Ann. des ponts et chaussées 1872, II. S. 178.

- Der Tunnel unter dem Harlem-River in New-York. *Scientific american* 1872, S. 135. — *Baugewerkszeitung* 1873, S. 130. — *Deutsche Bauz.* 1873, S. 77.
- Der Themse-Tunnel zu Woolwich. *Engineer* 1876, S. 135. — *Stummers Ingenieur* 1876, S. 122. — *Builder* 1877, S. 617.
- Tunnel unter einer Schleuse der Viktoria-Docks in London. *Engineering* 1878, S. 247.
- Der Clyde-Tunnel unter dem Hafen von Glasgow. *Engineering* 1869, S. 224 (Entwurf). — *Ann. des travaux publics* 1890, S. 84. — *Scientific american, Suppl.* 1890, S. 11835. — *Centralbl. d. Bauverw.* 1890, S. 278. — *Ann. des ponts et chaussées* 1892, I. S. 201. — *Ann. industr.* 1892, I. S. 160 u. 447. — *Railroad gazette* 1892, S. 327. — *Engineering* 1895, I. S. 598, 608, 691 u. 757.
- Der Severn-Tunnel bei Bristol. *Engineer* 1872, S. 216; 1876, S. 163; 1881, S. 244; 1884, S. 233. — *Deutsche Bauz.* 1885, S. 102. — *Engineering* 1872, S. 384; 1875, S. 196; 1880, S. 347; 1882, S. 47 u. 327; 1884, S. 117, 154, 189, 387, 420 u. 498; 1888, II. S. 522.
- Der Mersey-Tunnel bei Liverpool. *Engineer* 1872, S. 235; 1873, S. 382. — *Builder* 1873, S. 529; 1882, S. 144. — *Eisenbahn* 1880, S. 5. — *Deutsche Bauz.* 1882, S. 522; 1884, S. 31. — *Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver.* 1884, S. 48 u. 119. — *Schweiz. Bauz.* 1884, I. S. 41; (Eröffnung) 1885, I. S. 57. — *Centralbl. d. Bauverw.* 1886, S. 47. — *Railroad gazette* 1886, April, S. 260. — *Nouv. ann. de la constr.* 1886, S. 12. — *Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw.* 1886, S. 185. — *Ann. industr.* 1887, Jan. S. 7. — *Scientific american, Suppl.* 1889, S. 11464.
- Der Tunnel unter dem Hudson in New-York. *Scientific american* 1875, S. 210; 1880, S. 225; 1881, S. 352 u. 356; 1882, S. 147; 1882, Suppl. S. 5691. — *Engineering (deutsche Ausgabe)* 1875, S. 274; 1881, S. 587. — *Ann. des ponts et chaussées* 1885, II. S. 220. — *Deutsche Bauz.* 1880, S. 82. — *Wiederaufnahme der Arbeiten*, *Wochenbl. f. Bauk.* 1885, S. 405. — *Schweiz. Bauz.* 1884, I. S. 72. — *Deutsche Bauz.* 1886, S. 91 u. 111. — *Einstellung der Arbeiten*, *Deutsche Bauz.* 1887, S. 48; *Schweiz. Bauz.* 1888, II. S. 96. — *Engineer* 1887, Aug. S. 71. — *Wiederaufnahme der Arbeiten neuerdings*, *Scientific american, Suppl.* 1890, S. 11786. — *Deutsche Bauz.* 1892, S. 24. — *Génie civil* 1890, Bd. 17, S. 335. — *Centralbl. d. Bauverw.* 1890, S. 302; 1891, S. 100; 1892, S. 40. — *Railroad gazette* 1893, S. 156. — *Gufseiserne Verkleidung*, *Engng. news* 1892, I. S. 609. — *Génie civil* 1894, Bd. 24, S. 167.
- Der Themse-Tunnel zu Blackwall. *Engineer* 1892, I. S. 239; 1895, II. S. 430, 635 u. 642; 1896, I. S. 259; 1897, I. S. 504. — *Engng. news* 1892, I. S. 615; 1895, II. S. 115. — *Centralbl. d. Bauverw.* 1893, S. 362; 1895, S. 176 u. 192; (Eröffnung) 1897, S. 239 u. 246. — *Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw.* 1894, S. 231; 1896, S. 84. — *Génie civil* 1894, Bd. 25, S. 125; 1895, Bd. 27, S. 6; 1897, Bd. 31, S. 142. — *Engng. record* 1895, April, S. 295 u. 382. — *Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing.* 1897, S. 691. — *Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver.* 1897, S. 374 u. 411. — *Engineering* 1895, I. S. 1, 166, 206, 208, 212, 329, 344, 396 u. 410; 1896, I. S. 359 u. 391. — *Schweiz. Bauz.* 1895, Bd. 26, S. 51. — *Deutsche Bauz.* 1896, S. 75. — *Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb.* 1897, S. 283. — *Ann. des ponts et chaussées* 1898, I. S. 420.
- Der Emmersberg-Tunnel bei Schaffhausen. *Schweiz. Bauz.* 1894, Bd. 24, S. 67, 75 u. 171; 1895, Bd. 25, S. 135.
- Der Eisenbahn-Tunnel unter dem St. Clair-Flusse bei Port Huron in Nordamerika. *Wochenbl. f. Bauk.* 1886, S. 502. — *Scientific american, Suppl.* 1890, S. 12199. — *Engineering* 1890, II. S. 570. — *Ann. des travaux publics* 1890, S. 159; 1891, S. 35. — *Nouv. ann. de la construction* 1891, S. 24 u. 42. — *Génie civil* 1890, Bd. 17, S. 341. — *Civilingenieur* 1892, S. 30. — *Railroad gazette* 1892, S. 449, 478 u. 691. — *Engng. news* 1892, I. S. 489.
- Vertiefung des Washington-Street-Tunnels unter dem Chicago-Fluß zu Chicago. *Scient. amer.*, Suppl. 1891, S. 13095.
- Eiserner Tunnel unter der Seine bei Hâvre. *Ann. des travaux publics* 1891, Juli, S. 137. — *Génie civil* 1891, Bd. 18, S. 398. — *Österr. Eisenbahn-Zeitung*, XIV. Jahrg., No. 43, S. 302.
- Der Grand Trunk-Tunnel. *Österr. Eisenbahn-Zeitung*, XIV. Jahrg., No. 42, S. 302 u. No. 48, S. 350.
- Der West Chicago-Strafsenbahn-Tunnel. *Engineering* 1892, I. S. 256. — *Engng. news* 1894, April, S. 294.
- Le siphon de la Concorde sous la Seine à Paris. *Génie civil* 1895, Bd. 27, S. 289.
- Dumas, A. *Construction du collecteur de Clichy, nouvel emissaire des eaux d'égout de la ville de Paris.* *Génie civil* 1895, Bd. 27, S. 401. — *Bohnstedt. Centralbl. d. Bauverw.* 1897, S. 172 u. 503.
- Tunnelanlagen der City- und Süd-London-Bahn. *Engng. record* 1896, I. S. 439, II. S. 24 u. 66.
- Construction d'une section du tunnel de Boston par la méthode du Bouclier. *Génie civil* 1898, Bd. 33, S. 78.
- The central London railway. *Engng.* 1898, I. S. 329 u. 485. — *Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw.* 1899, S. 61.
- Tunnelbauten auf der Verlängerung der Orleansbahn in Paris. *Revue techn.* 1899, S. 241 u. 265. — *Nouv. ann. de la constr.* 1899, S. 66. — *Engng. news* 1899, I. S. 280.

- Schnebel. Der Spree-Tunnel zwischen Stralau und Treptow. Glasers Ann. 1896, Bd. 39, S. 110; 1899, Bd. 44, S. 122, Bd. 45, S. 139. — Stercken, W. Stahl und Eisen 1896, S. 919; Zeitschr. f. Kleinbahnen 1899, Heft 10, S. 496. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1899, S. 347 u. 1494. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1899, S. 1476. — Centralbl. d. Bauverw. 1899, S. 105. — Zeitschr. f. Arch. u. Ingenwes., Wochenausgabe 1899, S. 679; 1900, S. 47. — Schweiz. Bauz. 1899, I. S. 92; 1899, II. S. 116. — Engineer 1899, II. S. 223.
- Der Bau des Tunnels der elektr. Stadtbahn am Potsdamer-Platz in Berlin. Centralbl. d. Bauverw. 1901, S. 5. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1901, S. 37. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1901, S. 318. — Schweiz. Bauz. 1901, I. S. 118.
- Der East Boston-Tunnel. Schweiz. Bauz. 1900, II. S. 199. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1900, S. 548. — Engng. record 1901, Bd. 43, S. 104, 273. — Engng. news 1901, Bd. 45, S. 242. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1901, S. 860.

*Man vergleiche auch im Literaturverzeichnis am Ende dieser Abteilung unter „Untergrundbahnen“ und unter „Stollen und kleinere Tunnel“.*

#### d) Entwürfe größerer Unterwasser-Tunnel.

- Entwurf zu einem auf pneumatischem Wege zu versenkenden Tunnel unter dem Humber zu Hull. Engineering 1873, S. 65. — Builder 1873, S. 758.
- Entwurf zu einem 19 km langen Tunnel zwischen England und Irland bei Belfast. Scientific american 1873, S. 327.
- Entwurf zu einem 4 km langen Tunnel unter der Newark-Bay. Scientific american 1875, S. 225.
- Entwurf für submarine Röhrentunnel. Scientific american, Suppl. 1876, S. 377.
- Entwurf zu einem Tunnel unter der Gibraltarstrasse. Engineering and mining journ. 1872, S. 161. — Building news 1876, S. 274. — Nouv. ann. de la constr. 1877, S. 94. — Südd. Bauz. 1898, S. 88. — Schweiz. Bauz. 1898, Bd. 31, S. 75. — Génie civil 1898, Bd. 32, S. 270; 1899, Bd. 36, S. 80. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahnverw. 1898, S. 334.
- Tunnelentwurf unter dem St. Lawrence-Strom in Montreal. Deutsche Bauz. 1882, S. 274.
- Tunnelentwurf unter dem Port Jackson zur Verbindung von Sydney mit North Shore. Engineering 1887, März, S. 262.
- Entwurf zu einem Tunnel unter der Meerenge von Messina. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 176. — Deutsche Bauz. 1882, S. 94. — Eisenbahn 1882, I. S. 15. — Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1882, S. 22. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahnverw. 1883, S. 27 u. 104. — Scientific american 1882, S. 84. — Schweiz. Bauz. 1883, I. S. 16; 1884, I. S. 84; 1886, II. S. 30. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1897, S. 235.
- Entwürfe für den Tunnel unter dem Kanal la Manche zwischen Frankreich und England. Artizan 1871, S. 245. — Engineering 1872, S. 49; 1873, S. 478. — Iron 1874, S. 364 u. 427. — Ann. industr. 1873, S. 710; 1874, S. 806; 1877, S. 551. — Engineer 1873, S. 318 u. 383; 1874, S. 137; 1875 Jan., 5. Febr. u. S. 248; 1876, S. 172 u. 197; 1881, S. 479; 1882, S. 123 u. 143. — Eisenbahn 1875, S. 40, 136 u. 201; 1876, S. 230 u. 322. — Zeitschr. d. österr. Arch.- u. Ing.-Ver. 1875, S. 13 u. 201. — Zeitschr. d. ungar. Ing.- u. Arch.-Ver. 1875, S. 68. — Ann. des ponts et chaussées 1875, S. 497. — Deutsche Bauz. 1875, S. 302; 1879, S. 307, 319 u. 329.
- v. Hesse. Der unterseeische Tunnel zwischen England und Frankreich, vom geologischen, technischen und finanziellen Standpunkte betrachtet. Leipzig 1875. — Ferner: Deutsche Bauz. 1882, S. 106 u. 432; 1884, S. 264. — Centralbl. der Bauverw. 1882, S. 311, 384 u. 436. — Schweiz. Bauz. 1883, I. S. 151; 1884, I. S. 138.
- Übersicht der geologischen Studien und Vorarbeiten für den Tunnel zwischen Frankreich und England. Mém. et compte rendu des travaux de la soc. des ing. civ. 1883, Juli, S. 74. — Wochenbl. f. Bauk. 1887, S. 291.
- Verhandlungen, betr. den Entwurf eines eisernen Röhrentunnels zwischen England und Frankreich. Engineering 1891, II. S. 235. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1893, S. 64.
- Reed. Rohrtunnel durch den Kanal la Manche. Uhlands Wochenschr. 1894, I. 8, S. 203.
- Der Tunnelentwurf zwischen Dover und Ostende. Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahnverw. 1899, S. 170 u. 189.
- Entwurf eines Tunnels zwischen Irland und Großbritannien. Ann. f. Gew. u. Bauw. 1886, Nov., S. 187. — Wochenbl. f. Bauk. 1886, S. 382. — Génie civil 1891, Bd. 18, S. 415. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahnverw. 1899, S. 1064.
- Verschiedene Entwürfe für neue Durchtunnelungen der Themse in London. Deutsche Bauz. 1883, S. 148; 1886, S. 282. — Der Techniker (New-York) 1886, S. 44. — Wochenbl. f. Bauk. 1885, S. 512; 1887, S. 20. — Schweiz. Bauz. 1885, II. S. 50; 1887, I. S. 27; 1897, Bd. 30, S. 32.

- Entwurf eines Tunnels unter dem East-River zwischen New-York und Brooklyn. Ann. des travaux publ. 1890, S. 134. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1896, S. 515. — Schweiz. Bauz. 1896, Bd. 28, S. 100. — Engng. news 1897, I. S. 29; 1899, I. S. 319 u. 333.
- Corbin's Entwurf für einen Tunnel unter dem East-River zwischen New-York und Brooklyn. Railroad gazette 1892, S. 908 u. 951.
- Neuer Tunnel unter dem East-River zwischen New-York und Long-Island. Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 228.
- Tunnelentwurf unter der Northumberland-Meerenge zwischen der Prinz Edward-Insel und Neu-Braunschweig. Wochenbl. f. Bauk. 1885, S. 234. — Railroad gazette 1892, S. 429, 453, 581, 603, 733 u. 775.
- Vorschlag zur Herstellung eines Tunnels unter dem Hudson zwischen New-York und Jersey durch Versenken einer eisernen Röhre. Scientific american 1892, I. S. 53.
- Preisgekrönter Entwurf für einen Tunnel unter dem Schiffskanal von Duluth. Engng. news 1893, I. S. 100.
- Entwurf eines Tunnels unter dem großen Belt. Génie civil 1893, Bd. 23, S. 218.
- Entwurf eines Bosphorus-Tunnels. Revue techn. 1893, S. 61.
- Tunnelbrücke unter der Wasseroberfläche zwischen Konstantinopel und Skutari. Revue techn. 1894, S. 61.
- Entwurf zu einem Tunnel unter dem Mississippi in New-Orleans von G. C. Schulze. Engng. news 1894, II. S. 97.
- Entwurf zu einem Tunnel unter der Donau in Budapest von Lamoral Braunecka und Ing. A. Viszovszky. Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1896, S. 392. — Schweiz. Bauz. 1897, Bd. 30, S. 63 u. Baugewerkszeitung 1897, S. 1083.
- Entwurf zu einem Tunnel unter der Nawa in St. Petersburg. Génie civil 1893, Bd. 23, S. 163. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahnverw. 1894, S. 135; 1897, S. 716. — Revue univers. des mines 1895, I. S. 85. — Ann. f. Gew. u. Bauw. 1897, II. S. 39.
- Plan eines Tunnels unter dem Hooghly-Fluss zu Kalkutta. Engng. news 1894, II. S. 217.
- Vierter Tunnel unter der Themse. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahnverw. 1900, S. 112. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1900, S. 421.
- Tunnel unter der Meerenge von Gibraltar. Bauingenieur-Zeitung 1900, S. 124.
- Untertunnelung des East-River zu New-York. Engng. record 1901, Bd. 43, S. 128.
- Ein neuer Unterwasser-Tunnel. Engng. news 1901, Bd. 45, S. 235.
- Tunnel unter dem Meeresarm Solent zwischen der Insel Wight und England. Schweiz. Bauz. 1901, Bd. 37, S. 253.

## II. Die Tunnelmauerung.

Ein Tunnel bedarf in der Regel einer Ausmauerung, die sich je nach der Druckhaftigkeit des Gebirges auf den Umfang des ganzen Profiles oder auf einzelne Teile desselben erstreckt. Ersteres ist in sehr druckhaftem, milden und in schwimmendem Gebirge der Fall; der hierbei ringförmig im ganzen Umfange geschlossene Mauerkörper besteht aus Gewölbe, Widerlager und Sohlengewölbe. Statt des in der ganzen Länge des Tunnels durchlaufenden Sohlengewölbes genügt es häufig, nur einzelne Gurte desselben in gewissen Zwischenräumen auszuführen.

Bei Gebirgsarten von mittlerer Festigkeit besteht die Mauerung in der Regel nur aus Gewölbe und Widerlager, während die Sohle unverkleidet bleibt; es ist dies der am häufigsten vorkommende Fall. Bei festeren Gebirgsarten ist oft nur eine Mauerung des Gewölbes, sowie etwa eine leichte Verblendung einzelner Teile des unteren Profiles zur Verhütung von Ablösungen erforderlich. Sind solche zunächst nicht zu befürchten, und ist eine Verwitterung des Gebirges erst nach einer längeren Reihe von Jahren zu erwarten, so kann es wirtschaftlich sein, die Ausmauerung vorläufig ganz zu unterlassen und sie erst vorzunehmen, wenn die fortschreitende Verwitterung hierzu zwingt.<sup>82)</sup>

<sup>82)</sup> Bei drei Tunneln der Strecke Letmathe-Altena-Werdohl, die in den Jahren 1857 bis 1861 gebaut wurden, erfolgte die Ausmauerung einzelner Strecken von zusammen 405 m Länge erst 35 Jahre später und es ergab sich hierdurch eine Ersparnis von rund 358 000 M. Näheres hierüber, sowie über die Ausführung und die Kosten der nachträglichen Ausmauerung s. Centralbl. d. Bauverw. 1895, S. 298.

In verhältnismäßig seltenen Fällen ist das Gebirge nicht allein hinreichend fest und unverwitterbar, sondern auch so massig und frei von Klüftungen, daß die Mauerung gänzlich und dauernd erspart werden kann.

Bezüglich der Stärke der Mauerung und des zu wählenden Profiles sind im dritten Abschnitte dieses Kapitels, im § 113, bei Besprechung der Bearbeitung des Bauentwurfs Angaben gemacht, während hier die Mauermaterialien kurz und die Ausführung der Mauerung eingehender besprochen werden sollen.

**§ 87. Die Mauermaterialien.** Die für das Tunnelmauerwerk zu verwendenden Materialien müssen im allgemeinen dieselben Eigenschaften besitzen, wie für alle übrigen Ingenieurbauten; nur ist bei ihrer Wahl besonders darauf Rücksicht zu nehmen, daß das Mauerwerk fast ausnahmslos im Nassen ausgeführt wird, und daß die Untersuchung des fertigen Tunnels infolge der Dunkelheit und der durch den Rauch der Maschine entstehenden Schwärzung der Wände ungleich schwieriger ist, als bei anderen Bauwerken; daß ferner Ausbesserungen und Wiederherstellungsarbeiten eines im Betriebe befindlichen Tunnels wegen des beschränkten Raumes stets außerordentlich mühselig und kostspielig sind. Zur Vermeidung solcher Arbeiten ist es daher von großer Wichtigkeit, in allen Fällen das beste erreichbare Mauermaterial zu beschaffen.

Die Mauersteine können je nach den Verhältnissen Ziegel, Bruchsteine oder Quader sein. Bei Anwendung ersterer, die z. B. in England in ausgedehntem Maße verbraucht werden, ist besonders darauf zu sehen, daß nur ganz scharf gebrannte Steine, sogenannte „Klinker“, vermauert werden. Für die Bruchsteine und Quader ist unerläßliche Bedingung, daß sie tragfähig und wetterbeständig sein müssen. Es sind daher nicht alle Gesteinsarten und Gebirgsbildungen zu deren Gewinnung geeignet; vielmehr ist eine sehr sorgfältige Prüfung und Auswahl der Bezugsquellen notwendig, wodurch die Beschaffung oft erheblich erschwert wird. Sind die Bruchsteine lagerhaft, so sind sie im Widerlagsmauerwerk bei nicht allzustarkem Gebirgsdrucke ohne Bearbeitung verwendbar, während im Gewölbe meist eine hammerrechte Bearbeitung der Stofs- und namentlich der Lagerfugen erforderlich wird. Die Köpfe der Wölbsteine sind nur so weit abzuspitzen, daß sie gut auf den Schal-Latten aufliegen. Auf ein schönes und gleichmäßiges Aussehen der Mauerflächen im Inneren des Tunnels ist nicht allzuviel Rücksicht zu nehmen, da dies doch nicht zur Geltung kommt, dagegen ist auf guten Verband und gediegene Ausführung des Mauerwerks unausgesetzt die größte Sorgfalt und Aufmerksamkeit zu verwenden. Man pflegt nur etwa die ersten 20 m von der Mündung einwärts, die noch von dem einfallenden Tageslicht erhellt werden, in den Ansichtsflächen einer sorgfältigen Bearbeitung zu unterziehen.

In sehr drückendem Gebirge verwendet man zu den Widerlagern sowohl wie zum Gewölbe und vorkommendenfalls zum Sohlengewölbe ausschließlich Quader, die in gleichmäßigen Schichten genau nach der Schablone bearbeitet werden müssen. Die Kosten für solches Quadermauerwerk können unter Umständen sehr bedeutende Höhen erreichen. So mußten z. B. beim Bau des Lupkower Tunnels auf der ersten ungarisch-galizischen Eisenbahn Granitquader auf eine Entfernung von 700 km unter den schwierigsten Verhältnissen mit sehr großen Kosten herbeigeschafft werden, weil der in der Nähe vorhandene Karpathensandstein dem starken Drucke des Gebirges nicht widerstehen konnte, obgleich das daraus in Quadern hergestellte Gewölbe eine Stärke von 1 m hatte.

Bei der Wahl des Mörtels schließt der bereits erwähnte Umstand, daß fast ausnahmslos im Nassen oder doch im Feuchten gemauert werden muß, den Luftmörtel

unbedingt aus, es darf nur hydraulischer Mörtel verwandt werden. Dieser muß je nach dem geringeren oder größeren Wasserzudrange eine solche Mischung erhalten, daß er langsamer oder rascher erhärtet. Als Beispiele mögen angeführt werden: für schwach hydraulischen Mörtel bei ziemlich trockenem Tunnel eine Mischung von 1 Teil hydraulischen Kalk und 2 Teilen Sand oder eine solche von 2 Teilen Kalk, 3 Teilen Sand und 1 Teil Trafs, und für stark hydraulischen Mörtel bei sehr großem Wasserzudrange im Tunnel eine Mischung von 1 Teil Cement auf 2 Teile Sand. Bestimmte Mischungen lassen sich von vornherein nicht vorschreiben, zumal ja auch die Mörtelmaterialien an den einzelnen Baustellen zu verschiedenartig sind. Von großem praktischen Werte ist es, schon vor Beginn des Baues und auch in gewissen Abschnitten während desselben mit den verschiedensten Mörtelmischungen aus den vorhandenen Materialien Versuche in Bezug auf die Schnelligkeit und den Grad der Erhärtung anzustellen, nach deren Ergebnis die jedesmaligen zweckentsprechenden Mischungen festzustellen sind. Es würde zu weit führen, hier auf die Art und Weise, wie solche Versuche angestellt werden, einzugehen und wir müssen daher auf die bezügliche, in reichem Maße vorhandene Litteratur verweisen.

**§ 88. Die Lehrgerüste.** Die Tunnelprofile sind fast ausnahmslos aus verschiedenen Kreisbögen zusammengesetzt, sodafs alle Teile derselben nach Schablonen gemauert werden müssen; für den Bau der Widerlager und des Sohlengewölbes verwendet man hierzu Schablonen, die einen Druck von seiten des Mauerwerks nicht aufzunehmen vermögen, sogenannte Profillehren, während man beim Bau der Gewölbe starke Lehrgerüste herstellen muß, die imstande sind, die Last des Mauerwerks und mit fortschreitender Wölbung den vollen Druck des Gebirges zu tragen.

1. Die **Profillehren**, also die Schablonen für den Bau der Widerlager und des Sohlengewölbes, bestehen aus Brettern, die an der einen Seite nach der Wölbung des Mauerwerks, an der anderen Seite dagegen so geschnitten sind, daß sie leicht mit Hilfe des Lotes oder der Setzwage senkrecht bezw. beim Sohlengewölbe wagerecht aufgestellt werden können, vergl. Fig. 5, Taf. V. Die Höhe der Schablonen für die Widerlager ist verschieden nach den Druckverhältnissen des Gebirges; man macht sie so hoch, als man das Mauerwerk, ohne daß es einen Seitenschub ausübt, auführen kann, um dadurch die Lehrbögen für die Mauerung des Gewölbes nach Möglichkeit zu beschränken. Es wird in der Regel an jeder Arbeitsstelle nur eine Schablone aufgestellt und zwar an dem einen Ende der zu mauernden Zone, während an dem anderen Ende die fertige Mauerung eine solche ersetzt. Der Fuß der Schablone setzt sich auf einen Grundmauerabsatz oder den festen gewachsenen Boden; ihr oberer Teil wird an der Tunnelzimmerung in geeigneter Weise befestigt, oder auch, wie Fig. 13, Taf. V zeigt, mit der gegenüberstehenden Schablone durch angenagelte Latten verbunden. Die Aufstellung dieser Schablone ist stets genau nach Maß von der Mittellinie des Tunnels aus vorzunehmen, und ist ihrer richtigen Stellung ununterbrochen während des Mauerns die größte Aufmerksamkeit zu widmen, da hierbei begangene Fehler nur durch Abbruch des Mauerwerks wieder gut zu machen sind.

2. Die **Lehrbögen** haben, wie bemerkt, aufser der Belastung durch das Wölbmaterial auch dem vollen Gebirgsdrucke Widerstand zu leisten; sie müssen daher weit stärker gebaut sein, als die gewöhnlichen Lehrbögen bei Gewölbebauten über Tage. Bestimmte Regeln für die Berechnung ihrer einzelnen Abmessungen lassen sich indessen nicht angeben, weil der Gebirgsdruck unbekannt ist; nur ganz allgemein kann man

sagen: die Lehrbögen und deren Unterstützung müssen so gebaut sein, daß sie erstens jederzeit beliebig verstärkt werden können, und daß sie zweitens leicht zusammengesetzt und auseinander genommen werden, da die bei jeder Tunnelzimmerung zu vermeidenden schwierigen Verbindungen hier wegen der häufig zu wiederholenden Verwendung desselben Bogens an verschiedenen Arbeitsstellen besonders erschwerend sein würden.

Bezüglich der Gestaltung der Tunnel-Lehrbögen unterscheidet man im allgemeinen:

- a) Lehrbögen mit Sprengwerksgerüst,
- b) Bohlenbögen,
- c) eiserne Lehrbögen.

a) Lehrbögen mit Sprengwerksgerüst werden aus vollkantigen Hölzern nach denselben Regeln wie die gewöhnlichen Lehrbögen zusammengesetzt. Fig. 33, Taf. III und Fig. 6, Taf. V zeigen derartige Anordnungen. Bei der belgischen Bauweise werden diese Lehrbögen unmittelbar auf die Sohle der Kalotte abgestützt, während sie bei den übrigen Bauweisen an den Widerlagern auf sogenannten „Stuhlwänden“ ihr Auflager finden und außerdem noch in der Mitte eine Unterstützung erhalten. Diese mittlere Stütze besteht bei der englischen und österreichischen Bauweise aus besonderen Stempeln oder auch aus den Unterzügen des unteren Bockes (Fig. 27, Taf. V), während sie bei der deutschen Bauweise durch den Kern gebildet wird.

Die erwähnten Stuhlwände bestehen aus einem wagerechten Holm, der etwa in Kämpferhöhe unmittelbar am Widerlagsmauerwerke liegt und durch Stempel entweder auf einen Grundmauerabsatz oder auf den gewachsenen Boden, nach Bedarf mit Hilfe einer Längsschwelle abgestützt wird. Durch Streben an den Enden der Holme werden die Stuhlwände gegen Ausweichen in der Längsrichtung geschützt.

In mildem und schwimmendem Gebirge, wo vor Herstellung des Sohlengewölbes ein Ausweichen der Widerlager in den freien Raum des Tunnels zu befürchten ist, bieten die Sprengwerkslehrbögen in Verbindung mit dem unteren Bocke der österreichischen Bauweise ein vorzügliches Mittel, um den Seitendruck aufzunehmen und unter dem Schutze dieses kräftigen Absteifungsgerüsts das Sohlengewölbe auszuführen. Die Fig. 1, Taf. VIII läßt die Zweckmäßigkeit dieser Anordnung zur Genüge erkennen.

b) Die Bohlenbögen werden aus mehreren Lagen einander überbindender Bohlenstücke zusammengesetzt, welche durch Schrauben fest zusammengehalten werden. Fig. 14, Taf. V zeigt die beim Bau des zweigleisigen Hauenstein-Tunnels, und Fig. 2, Taf. VIII die beim Bau des eingleisigen Tunnels zu Küllenberg der Linie St. Peter-Fiume der österreichischen Südbahn benutzten Bohlenbögen. Erstere bestanden aus einer dreifachen Lage von Bohlen, deren Gesamtstärke 21 bis 24 cm und deren Breite etwa 40 cm betrug. Die Länge der einzelnen Bohlenstücke war auf durchschnittlich 1,5 m bemessen. In einer Zone von 8 m Länge standen unter gewöhnlichen Verhältnissen fünf solcher Bögen. Sie ruhten an den Widerlagern auf einer Stuhlwand und waren bei dem nicht sehr starken Gebirgsdrucke in der Mitte nicht weiter unterstützt.

Die Bohlenbögen des Tunnels bei Küllenberg bestanden aus zwei Lagen 10 cm dicker Tannenbohlen von 1,27 m Länge und 40 bis 50 cm Breite, die an den Stößen mittels zwei starker Blechplatten und vier Schraubenbolzen verlascht waren. Auch in druckreichen Stellen des Gebirges (durchhäftem Mergel mit Sandsteinbänken) haben sich diese in Entfernungen von 1 zu 1 m aufgestellten Bohlenbögen sehr gut bewährt.

c) In neuerer Zeit werden meistens eiserne Lehrbögen angewandt (Fig. 19, Taf. V). Sie bestehen in der Regel aus gebogenen I-Eisen von 20 bis 30 cm Höhe

mit 40 bis 50 qcm Querschnittsfläche, und werden aus zwei oder drei, an den Stößen mit entsprechend starken Laschen und Schraubenbolzen verbundenen Teilen zusammengesetzt. Am Steg der Fufsstücke der Bögen werden zur Bildung einer breiten und sicheren Auflagerfläche kräftige Winkeleisen angebracht. Im allgemeinen dürfte die Zusammensetzung der Lehrbögen aus drei Teilen derjenigen aus zwei Teilen vorzuziehen sein, weil erstere kürzer und daher in den engen Räumen eines Tunnels leichter zu bewegen und einzubauen sind. Beim Bau vieler Tunnel der Rheinischen Bahn wurden statt der I-Eisen mit Vorteil alte 23 cm hohe Hartwich-Schienen verwendet (vergl. § 75).

Die eisernen Lehrbögen haben gegenüber den Lehrbögen mit Sprengwerksgerüst und den Bohlenbögen den Vorteil, dafs sie sehr wenig Raum einnehmen, durch den Gebrauch wenig verschleifen und durch Einbau von Unterzügen leicht beliebig verstärkt werden können, wie aus Fig. 14, Taf. VI und Fig. 19, Taf. V ersichtlich, vergl. auch Fig. 1 u. 6, Taf. VI.

**3. Bewegliche Lehrgerüste**, bei denen mehrere Lehrbögen zusammen auf einem Rollengestell ruhen, das samt den Lehrbögen nach vollendeter Wölbung und Ausrüstung zum weiteren Gebrauch in die nächste Zone geschoben wird, sind nur beim Bau mit dem reinen englischen Zimmerungssystem anwendbar; hier sind sie allerdings mehrfach ausgeführt worden, z. B. beim Bau der Tunnel bei Heidelberg und bei Waldshut der badischen Staatsbahn, sowie des Tunnels bei Saltwood in England. Näheres hierüber ist nachzulesen in den Werken von Rziha, Simms und Schön.

Der Längsverband der Lehrbögen wird zunächst durch Sprengbolzen und Anlegehölzer hergestellt, welche letztere auf den Lehrbögen liegen und zur vorübergehenden Abstützung der Umfassungszimmerung dienen, vergl. Fig. 35, Taf. V. Weiterhin bieten die zur Herstellung des Gewölbes auf den Lehrbögen aufzulegenden Schal-Latten einen Längsverband.

Bei der Unterstützung der Lehrbögen durch Stuhlwände und den unteren Bock wird ausserdem noch durch die Holme der Stuhlwände und die Unterzüge des Bockes ein kräftiger Längsverband gebildet. In der Regel genügen diese Mittel den praktischen Bedürfnissen. In besonderen Fällen kann man indessen noch weitere Verstärkungen des Längsverbandes anbringen, und zwar bei Anwendung von Sprengwerkslehrbögen durch Verbindung einzelner Teile derselben mittels Zangen, bei Bohlenbögen durch an der Innenseite angenagelte Bretter und durch Unterzüge, bei eisernen Lehrbögen gleichfalls durch Unterzüge.

**4. Die Aufstellung der Lehrbögen** erfolgt in Entfernungen von 1 bis 1,50 m von Mitte zu Mitte, je nach den Druckverhältnissen des Gebirges; geringere Entfernungen als 1 m kommen nicht vor, weil sonst der Zwischenraum zu eng sein würde, um dem Maurer die Ausführung seiner Arbeit zu gestatten. Wird bei 1 m Abstand der Lehrbögen der Gebirgsdruck für einen einzelnen zu grofs, so verstärkt man ihn oder stellt zwei unmittelbar nebeneinander auf, anstatt den Abstand noch mehr zu verringern.

Die Aufstellung der Bohlenbögen, sowie der eisernen Lehrbögen zwischen den Gespärren ist leicht auszuführen, weil deren einzelne Teile keine grofsen Abmessungen haben und leicht zusammengesetzt werden können. Schwieriger ist dies bei den Lehrbögen mit Sprengwerksgerüst, die einen gröfseren Raum einnehmen und deren einzelne Teile aus längeren, schweren und daher in den engen Räumen nicht so leicht zu handhabenden Stücken bestehen.

Da die Aufstellung der Lehrbögen nicht ohne Auswechslung von Sprengbolzen zwischen den Gespärren, sowie vorkommendenfalls von sonstigen Zimmerungshölzern

der letzteren ausführbar ist, so muß hierbei mit besonderer Vorsicht vorgegangen werden, damit nicht etwa wichtige Rüstteile beseitigt werden, bevor sie durch Hilfszimmerung genügend ersetzt sind. Eine solche Arbeit erfordert eine sehr genaue Kenntnis der ganzen Zimmerung und darf daher nur von den geübtesten und tüchtigsten Zimmerleuten (bergm. „Zimmerhäuern“) ausgeführt werden.

Die Stellung der Lehrbögen muß wie diejenige der Profillehren bei jeder einzelnen Zone in Bezug auf die Höhe und die Mittellinie des Tunnels vor Beginn des Wölbens von den bauleitenden Beamten genau untersucht und auch während der Arbeit öfters nachgemessen werden.

5. Die **Verschalung der Lehrbögen** besteht aus den sogenannten „Schal-Latten“, d. i. bei Ziegelmauerwerk aus Bohlen von 7 bis 8 cm Stärke, die mit fortschreitender Mauerung unmittelbar nebeneinander gelegt und auf den Lehrbögen mit den Enden stumpf voreinander gestossen werden. Bei Mauerung mit Bruchsteinen oder Quadern verwendet man scharfkantig geschnittene Hölzer von  $\frac{10}{10}$  oder auch  $\frac{10}{15}$  cm Stärke, die aber nicht dicht nebeneinander, sondern in Abständen gleich der Stärke der Mauer-schichten verlegt werden, sodafs auf jede Schicht eine Schal-Latte kommt. Die Länge der Schal-Latten beträgt in der Regel etwa 4 m, weil sie in dieser Länge noch leicht zu handhaben sind. Bei gröfseren Zonenlängen pflegt man, um einen Verschnitt der Latten zu vermeiden, diese auf den Lehrbögen nicht stumpf voreinander, sondern übergreifend nebeneinander zu legen. Beim Schlufs des Gewölbes werden kurze Schal-Latten verwandt, die nur von einem Lehrbogen zum anderen reichen; eine eingehende Beschreibung des Vorganges bei dieser beschwerlichen Arbeit ist weiter unten in § 89 gegeben.

6. Zur **Ausrüstung der Lehrbögen** werden unter den Auflagern Entlastungs-vorrichtungen angebracht, die entweder unmittelbar unter jedem einzelnen Bogen sich befinden (Fig. 14, Taf. V) oder unter einem Unterzug, auf dem die entsprechenden Lehrbögen einer Zone ruhen (Fig. 19, Taf. V). In letzterem Falle ist ein gleichmäfsigeres Ausrüsten der ganzen Zone zu erreichen.

Von den bei gewöhnlichen Lehrbögen über Tage gebräuchlichen Vorrichtungen zum Ausrüsten, als: Keile, Sandtöpfe oder Schrauben, finden beim Tunnelbau fast ausschliesslich die Keile Anwendung. Diese werden aus Eichenholz etwa 15 cm breit und 45 cm lang mit einer gröfsten Stärke von 10 cm und mit Neigung von 1:9 hergestellt; sie haben sich als die einfachste dieser Vorrichtungen beim Tunnelbau am besten bewährt. Besondere Erwähnung verdient die Auslösungsvorrichtung bei der Rziha'schen Eisenrüstung, wie sie beim Naenser und Ippenser Tunnel zur Anwendung gekommen ist. Man benutzte hierfür das Schlufsstück des Lehrbogens, das zu diesem Zwecke aus zwei Teilen hergestellt wurde (Fig. 5, Taf. VI). Der eine Teil (A) bildete einen Kasten, in welchen der andere Teil (B) mittels eines Kolbens *b* gut schließend hineinfafste. Bei fertiger Aufstellung des Bogens liefs der Kolben im Kasten eine Länge von rund 10 cm frei. Diesen Raum füllte man durch die Öffnung  $a_1$  mit trockenem Sande aus und stampfte letzteren so fest, dafs er den Gebirgsdruck aufnehmen konnte, ohne merklich zusammengedrückt zu werden. Die Öffnung  $a_1$  wurde darauf mittels einer Schraube geschlossen. Sollte nach Fertigstellung des Gewölbes der Bogen ausgerüstet werden, so wurde die unten im Sandkasten angebrachte Schraube herausgenommen und der Sand durch die entstandene Öffnung entfernt.

Ein Lösen der Keile unter den Lehrbögen pflegt man in der Regel gleich nach Schlufs des Gewölbes vorzunehmen. Darauf läfst man die Lehrbögen noch 4 bis 5 Tage

stehen und rüstet schliesslich vollständig aus, indem man sie durch Umstossen mittels langer Stangen oder Umreifen mittels Stricken beseitigt.

**§ 89. Die Ausführung der Mauerung.** Bei allen Tunnelbauarten wird das Mauerwerk zonenweise ausgeführt; die einzelnen Zonen werden entweder durch eine Verzahnung miteinander verbunden oder stumpf aneinandergestossen. Erstere Anordnung hat bei der Ausführung manche Nachteile gegenüber letzterer, während der damit bezweckte Vorteil einer Erhöhung des Zusammenhanges und damit der Sicherheit des gesamten Mauerkörpers meist eingebildet ist. Zunächst ist es schwierig, mit Rücksicht auf das verschiedenartige Setzen zweier benachbarten Zonen einen gleichmäßigen Eingriff der Verzahnung zu erzielen. Man läßt zwar zur Vermeidung dieses Übelstandes die beiden letzten Lehrbögen der vorhergehenden, geschlossenen Zone stehen, ohne die Keile zu lösen und entfernt sie erst mit den Lehrbögen der in Angriff genommenen Zone, erreicht aber auch dadurch nicht mit Sicherheit den gewünschten gleichmäßigen Eingriff der Verzahnung, weil die Erhärtung des Mörtels in den beiden Zonen ungleichartig ist. Sehr häufig findet man daher, daß die Steine in den Verzahnungen abgebrochen sind; dann ist deren Zweck vollständig verfehlt und ihre Wirkung für die Festigkeit des Mauerwerks eher schädlich als nützlich. Ein anderer Umstand erschwert noch das Mauern mit Verzahnung, wenigstens bei Bruchstein- und Quadermauerwerk, nämlich die dadurch gebotene Durchführung der einzelnen Mauerschichten in gleicher Stärke, die nur mit größeren Kosten zu erreichen ist. Wenn daher die Ausführung der Verzahnungen, namentlich bei Quadermauerwerk, bisweilen noch geschieht, so ist dies lediglich Gewohnheits- und Geschmackssache. Den höheren Kosten stehen nennenswerte Vorzüge nicht zur Seite, und das erzielte schöne und gleichmäßigere Aussehen der Mauerflächen ist in dem dunklen Raume ohne Wert. Das bei den Bauausführungen bei weitem vorherrschende stumpfe Aneinanderstossen der Zonen kann somit als zweckmäßiger empfohlen werden. Die Festigkeit des Mauerwerks wird dadurch entschieden erhöht, weil dieses in jeder einzelnen Zone unter gleichen Verhältnissen ausgeführt und daher auch ein gleichmäßiges Setzen erzielt wird. Es sei noch bemerkt, daß die Stoszfuge zwischen zwei Zonen ausgefugt, und wenn nötig, durch Einspritzung von Cement gedichtet wird, wie weiter unten eingehender beschrieben ist.

In Bezug auf die eigentliche Ausführung des Mauerwerks gelten im allgemeinen die gleichen Regeln, wie bei der Ausführung von Ingenieurarbeiten über Tage; es wird daher hier genügen, einige wesentliche Punkte hervorzuheben.

Die Schichten des Mauerwerks müssen stets sorgfältig abgeglichen werden, um unregelmäßiges Setzen zu vermeiden und einen gleichförmigen Mauerkörper zu erzielen. Die Lagerfugen sind rechtwinkelig zur Leibung des Gewölbes anzulegen. Gegen letztere Regel findet man beim Bau der Widerlager häufig Verstöße, die um so mehr zu tadeln sind, als das Mauerwerk ebenso leicht mit radialen, wie mit wagerechten Lagerfugen ausführbar ist. Man muß dazu nur statt der gewöhnlichen Maurerwinkel solche verwenden, deren einer Schenkel nach der jeweiligen Gewölbeleibung gekrümmt, während der andere radial gestellt ist.

1. Die **Beförderung der Mauermaterialien** geschieht mit Hilfe von Bühnen- und Kastenwagen (vergl. § 40). Erstere benutzt man namentlich für Quader und größere Bruchsteine, letztere für kleinere Bruchsteine, Ziegel und Mörtel bzw. Mörtelmaterialien (vergl. Fig. 21 u. 22, Taf. I). Es ist allgemein üblich und auch sowohl wegen des beschränkten Raumes im Tunnel, als wegen der besseren Aufsicht durchaus empfehlenswert,

den Mörtel stets außerhalb des Tunnels zu bereiten. Sehr zweckmäÙig ist dabei, wie bei allen gröÙeren Ingenieurarbeiten, die Anwendung von Mörtelmaschinen.

Das Heben der Materialien auf die Mauergerüste der im Bau befindlichen Zonen geschieht häufig von Hand, zuweilen benutzt man dazu auch schiefe Ebenen oder auf der Sohle des Tunnels befindliche Kabelwinden nebst dazu gehörigen, an den Haupt-hölzern der Zimmerung befestigten Rollen.

**2. Die Grundmauern.** In festem, unverwitterbarem Gebirge, das nur eine Verkleidung der Tunnelwandungen zur Verhütung einzelner örtlichen Ablösungen erfordert, wird kein Grundmauerwerk angelegt, da das Widerlagsmauerwerk gleich auf dem radial abgearbeiteten Felsen begonnen werden kann.

In verwitterbarem und gebrächem Gebirge sind die Grundmauern in solcher Tiefe auszuführen, daß die Witterungsverhältnisse auf das tragende Gebirge keinen Einfluß mehr ausüben können. Sie werden zweckmäÙig in gröÙerer Breite als das Widerlagsmauerwerk angelegt, um eine günstigere Druckverteilung zu erzielen und beim Ansetzen des Widerlagers einigen Spielraum auf der Oberfläche des Grundmauerwerks zu erhalten. Auch dienen die dadurch gebildeten, 20 bis 25 cm breiten Fundamentabsätze dazu, beim Wölben einen sicheren Stützpunkt für die Stuhlwände zu schaffen.

In mildem und schwimmendem Gebirge pflegt man zur besseren Druckverteilung starke eichene Bohlen auf der Sohle der Baugrube zu verlegen und darauf das Mauerwerk anzusetzen. In einzelnen Fällen werden auch Betonmauerkörper in schachtartigen, bis auf festere Schichten des Gebirges getriebenen Absenkungen ausgeführt. Bei Durchtunnelung von Hängen mit einseitigem Druck, der aufsergewöhnlich starke Widerlager und entsprechende Grundmauern erfordert, nehmen diese bisweilen sehr beträchtliche Abmessungen an; so mußten z. B. beim Bau des Mühlthal-Tunnels auf der Brennerbahn Grundmauern von 6 m Breite und gleicher Tiefe bis auf den festen Felsen hergestellt werden; die Ausführung dieser Arbeit geschah in einzelnen Stollen.

Wenn bei drückendem Gebirge die Ausführung eines Sohlengewölbes von vornherein erforderlich oder auch nur für wahrscheinlich angesehen wird, so muß man gleich in den Grundmauern Gewölbeansatzquader für das Sohlengewölbe mit einmauern, die dann gleichzeitig den oben besprochenen Mauerabsatz bilden. In einzelnen Gebirgsarten, in denen Höhlenbildungen vorkommen, oder wo früher Bergbau betrieben wurde und daher das Antreffen alter Gänge und Stollen (bergm. „alter Mann“ genannt) zu erwarten steht, ist die ganze Tunnelsohle durch Bohrungen genau zu untersuchen. Werden dabei Hohlräume gefunden, so müssen sie entweder trocken verpackt oder nötigenfalls durch Mörtelmauerwerk ausgefüllt werden.

**3. Die Widerlager** werden, wie bereits gesagt, nach Lehren von einfachen Bockgerüsten aus so hoch gemauert, als dies ohne Aufstellung von Lehrbögen möglich ist. Waren die Seitenstöße des Tunnels verzogen, so müssen die Hölzer nach und nach ausgewechselt, und wenn irgend möglich, auch die Pfähle beseitigt werden. Bei starkem Seitendruck ist das Widerlagsmauerwerk durch Zirkelhölzer und Spreizen abzustützen, vergl. Fig. 26 u. 35, Taf. V. Etwaige Hohlräume hinter dem Mauerwerk werden mit unverwitterbaren Steinen fest verpackt („versetzt“).

**4. Das Hauptgewölbe** wird, wie verschiedene Figuren auf Taf. III bis VI zeigen, von beiden Seiten gleichmäÙig unter allmählicher Auswechslung der Zimmerungshölzer und Aufbringung der Verschalung auf die Lehrbögen ausgeführt. Dabei stehen die Maurer auf Gerüsten zwischen den Lehrbögen und den Gespärren, und es muß bei

Aufstellung der Lehrbögen darauf geachtet werden, daß dieser Zwischenraum hinreichend groß bleibt, d. h. mindestens die für einen Maurer erforderliche Weite von 60 cm bietet.

Der Schluß des Gewölbes erfolgt, nachdem die beiderseitigen Gewölbeteile bis auf etwa 80 cm einander genähert sind, indem man für den übrig bleibenden Raum die Gewölbeschichten in der Längsrichtung des Tunnels einmauert. Der Schlußstein wird also nicht, wie bei den Gewölben über Tage, von obenher, sondern von der Seite eingesetzt. Zu diesem Zwecke werden die beiderseitigen letzten Wölbchichten gut abgeglichen und nun genau passende, nötigenfalls vorher zu bearbeitende Schlußsteine thunlichst in der ganzen Stärke des Gewölbes durchbindend von der Seite hereingeschoben, nachdem die Lagerfugen vorher reichlich mit Mörtel bestrichen wurden. Es ist dies eine mühsame Arbeit, die besondere Geschicklichkeit erfordert, weil der Maurer sich nicht nahe genug bei den zu versetzenden Steinen und an deren Seite befindet. Aus letzterem Grunde werden an dieser Stelle, wie bereits in § 88 erwähnt, nur kurze, von einem zum anderen Lehrbogen reichende Schal-Latten verwendet.

Ein Mittel, diesem Übelstande abzuhelpen, kam beim Bau des in Ziegelsteinen gewölbten Blechingley-Tunnels zur Anwendung<sup>83)</sup>, siehe Fig. 3, Taf. VIII. Die zwei obersten Schal-Latten wurden in einem Abstände von 45 cm verlegt, sodaß ein Mann gerade noch Platz dazwischen fand, und mit Falzen versehen. In diese Falze wurden kleine Brettchen senkrecht zur Richtung der Latten eingeschoben und dadurch die Verschalung, entsprechend dem Voranschreiten der Schlußschicht, allmählich geschlossen, während es dem Maurer möglich war, stets unmittelbar vor seiner Arbeit zu bleiben. Ein ähnliches Verfahren fand im Hauenstein-Tunnel beim Schließen des aus hammerrecht bearbeiteten Steinen gebildeten Gewölbes statt, s. Fig. 4, Taf. VIII. An den Lehrbögen waren Winkeleisen befestigt, worauf mit einem Falz versehene Querhölzer gelegt wurden. In diesen Falzen fanden kurze Schal-Latten senkrecht zur Tunnelrichtung (wie beim Blechingley-Tunnel) ihr Auflager.

Kommt die Mauerung zweier Zonen von verschiedenen Seiten her zusammen, so wird ein sogenannter „Kunstschluß“ ausgeführt. Man mauert zunächst bis auf eine kleine Öffnung zu, in der sich eben noch ein Mann bewegen kann. Bei Ziegelsteinmauerwerk wird alsdann diese Öffnung dadurch geschlossen, daß man mit rasch erhärtendem Cementmörtel über sich mauert, d. h. die Steine nach und nach von unten in die Öffnung hinein bringt und auch den letzten gut passenden Stein in dieser Weise einschiebt; der Cementmörtel giebt den Steinen genügenden Halt, bis sie durch die Ausrüstung der Lehrbögen fest aufeinandergepreßt werden. Anders ist der Schluß bei Quader- oder Bruchsteinmauerwerk; hier wird über der Öffnung im Gebirge eine Nische hergestellt und in diese der genau nach Maß gearbeitete Schlußstein aufgehängt; darauf mauert man das Gewölbe so weit zu, daß oben noch ein dem Schlußstein entsprechendes Loch frei bleibt, und läßt diesen schließlic in dasselbe hineinfallen. Die Nische über dem Schlußstein kann natürlich nicht hinterpackt werden; man sucht daher soviel wie möglich den Kunstschluß in festem Gebirge vorzunehmen.

5. Das **Shlengewölbe** wird je nach den Druckverhältnissen, entweder nach Ausrüstung des Hauptgewölbes oder vorher oder auch vor Beginn der Mauerung überhaupt ausgeführt.

<sup>83)</sup> Simms. Practical tunneling.

Der erste Fall tritt dann ein, wenn nach Fertigstellung des Tunnels sich Bewegungen der Widerlager zeigen oder befürchtet werden. Der Aushub für das Sohlengewölbe wird hierbei in kurzen Längen von 2 bis 4 m vorgenommen, während die Widerlager nötigenfalls gegeneinander abgespreizt werden. Die Ausführung des Sohlengewölbes ist darauf leicht nach Lehren zu bewirken.

Den Vorgang beim zweiten Falle zeigen die Fig. 27, 39 u. 40, Taf. V; die Widerlager werden mit Hilfe von Zirkelhölzern und Spreizen sorgfältig gegen die unteren Bocksäulen abgesteift, sodafs unter dem Schutze dieser Zimmerung das Sohlengewölbe ohne Gefahr für das fertige Mauerwerk in kurzen Zonen ausgeführt werden kann. Besonders empfehlenswert erscheint die Art der Herstellung des Sohlengewölbes beim Bau des Kaiser Wilhelm-Tunnels (Fig. 39 u. 40, Taf. V), die auf S. 197 näher besprochen wurde.

Die Ausführung des Sohlengewölbes vor Inangriffnahme der Mauerung findet bei Bauten in sehr schlechtem Baugrunde statt (vergl. Homberger Tunnel, Fig. 33 bis 36, Taf. V, Christina-Tunnel, Fig. 21 bis 23, Taf. VI, und Naenser Tunnel, Fig. 6 u. 7, Taf. VI), die den Vorgang zur Genüge erkennen lassen.

6. Die **Hintermauerung** muß gleichzeitig mit der Ausführung des Mauerwerks erfolgen, indem der Raum zwischen diesem und dem Gebirge mit unverwitterbaren Steinen sorgfältig ausgepackt wird. Es ist auf diese Arbeit besonderer Wert zu legen, weil Hohlräume hinter dem Gewölbe unbedingt vermieden werden müssen. Um dies sicherer zu erreichen, und um das Mauerwerk für Wasser möglichst undurchlässig zu machen, führt man bisweilen auch die Hintermauerung in Mörtel aus. Es ist dies indessen sehr kostspielig und überflüssig, da beide Zwecke auch bei sorgfältiger trockener Hinterpackung erreicht werden. Von der Entwässerung der Hintermauerung wird in § 90 die Rede sein.

7. Die **Rüstungen für die Maurer** werden beim Bau der Widerlager entweder aus den gewöhnlichen, über Tage gebräuchlichen Bockgerüsten oder auch mit Hilfe von Rüstbäumen hergestellt, die mit Klammern und Stricken an den Stempeln der Gespärre befestigt werden. Beim Wölben hängt man diese Rüstungen an den Lehrbögen auf oder stützt sie bei Anwendung von Zimmerungssystemen mit Gespärren auf den unteren Bock der letzteren ab. In der Regel sind sowohl für die Widerlager, als auch für das Gewölbe Rüstungen in je zwei Etagen erforderlich. In Fig. 14, Taf. V, sowie in Fig. 26 u. 27, Taf. III sind Beispiele für Maurerrüstungen dargestellt.

8. Die **Arbeiten des Zimmerhäuers während der Mauerung und das Auswechseln des Holzes**. Mit fortschreitender Mauerung muß, wie bereits mehrfach hervorgehoben, die Umfangszimmerung durch Auswechslung beseitigt werden. Dies geschieht durch vorübergehende Abstützung der das Gebirge tragenden Hölzer auf die Lehrbögen und darauf folgende Beseitigung der Streben und Stempel, die jene bisher stützten. Durch diese Übertragung des Gebirgsdruckes von der Zimmerung auf die Lehrbögen wird naturgemäfs der Zusammenhang jener mehr oder weniger gelockert, daher muß hierbei mit der äußersten Vorsicht zu Werke gegangen werden; man pflegt deshalb diese Arbeit nur den geübtesten, mit dem Zimmerungssystem genau bekannten Zimmerhäuern zu übertragen. Niemals soll man sie von den Maurern ausführen lassen, weil diese, durch die Zimmerhölzer in ihrer Arbeit behindert, leicht mehr solcher Hölzer beseitigen, als unbedingt notwendig ist, und dadurch Gefahr herbeiführen können.

Das Beseitigen der Hölzer ist, so weit möglich, so vorzunehmen, daß sie wieder Verwendung finden können, daher ist ein Verhauen thunlichst zu vermeiden. In festem Gebirge ist dies auch meistens ausführbar, in druckhaftem Gebirge dagegen sind die einzelnen Zimmerungshölzer oft so fest ineinander eingepreßt, daß sie ohne Axt und Säge nicht entfernt werden können. In solchen Fällen ist es zweckmäßig und gebräuchlich, den Querschnitt der Hölzer mittels der Axt allmählich so weit zu verringern, daß sie durch den Gebirgsdruck an dieser Stelle geradezu zerdrückt werden; hierbei wird der Druck allmählich auf die Lehrbögen übertragen und jeder bei den gewaltigen hier wirkenden Kräften gefährliche Stöße vermieden.

**9. Das Auffirsten.** In druckhaftem Gebirge kommt es öfters vor, daß die Firste des Vollausbruches so weit heruntergedrückt wird, daß über den Lehrbögen für die Herstellung des Gewölbes nicht mehr der nötige Platz bleibt. Die Arbeit zur Wiederherstellung des erforderlichen Profiles wird alsdann das „Auffirsten“, auch „Abtreiben“ oder „Nachnehmen des Profiles“ genannt.

In schwimmendem oder sehr rolligem Gebirge geschieht das Auffirsten in der Weise, daß man über den thunlichst nahe aneinander gestellten Lehrbögen eine ganz neue Umfangszimmerung in der richtigen Höhe herstellt und diese unmittelbar auf die Lehrbögen abstützt. Dadurch werden dann die Gespärre überflüssig, soweit sie nicht zur Unterstützung der Lehrbögen erforderlich sind. Diese Arbeit, durch die der Zusammenhang der Zimmerung vollständig aufgehoben wird, ist stets sehr gefährlich, und darf nur in kurzen Zonenlängen mit äußerster Vorsicht vorgenommen werden. Wenn das Gebirge es irgend zuläßt, pflegt man sie in der Weise einzuteilen, daß man in der Nacht stückweise unmittelbar vor den fertigen Gewölbeschichten die Umfangszimmerung nur für eine Strecke von solcher Länge neu herstellt, wie sie am Tage gemauert werden kann. Die Gespärre helfen alsdann bis zum Schluß des Gewölbes den Gebirgsdruck mit tragen und die Lehrbögen sind weit kürzere Zeit der vollen Belastung durch Gewölbe und Gebirge ausgesetzt. Unter allen Umständen ist ein solches Auffirsten eine sehr zeitraubende, kostspielige und, wie schon angedeutet, höchst gefährliche Arbeit, die, wenn irgend möglich, vermieden werden muß. Das einzige Mittel ihr vorzubeugen besteht — abgesehen von der Rziha'schen Eisenrüstung, bei der die Unzusammendrückbarkeit des Materials ein Niedergehen der Firste verhindert — darin, die Firste des Vollausbruches von vornherein mit einer genügenden Überhöhung anzulegen (vergl. § 95).

### § 90. Die Entwässerung des Tunnelmauerwerks und der Tunnelkanal.

Bei der Entwässerung des Mauerwerks in einem Tunnel handelt es sich nicht nur um dessen Erhaltung, sondern (bei Eisenbahntunneln) auch um die Sicherheit des Betriebes, die bei Wasser durchlassendem Mauerwerk durch Eisbildungen am Gewölbe und auf den Schienen gefährdet werden kann. Es ist daher von seiten der Tunnel-Ingenieure der Trockenhaltung des Tunnelmauerwerks von jeher besondere Aufmerksamkeit geschenkt worden; man hat in wasserreichem Gebirge zu diesem Zwecke viele verschiedenartige und zum Teil recht kostspielige Mittel zur Anwendung gebracht. Dahin gehören namentlich Abdeckungen des Mauerwerks mit wasserdichten Stoffen, wie Wachstuch, Wachsleinwand, Asphaltfilz, selbst Zinkblech, ferner Cementschichten, die während der Mauerung, dem Fortschreiten derselben entsprechend, unmittelbar auf das Gewölbe gelegt wurden und über denen man die notwendige Hintermauerung des Gewölbes bzw. die Verpackung zum festen Anschlusse desselben an das Gebirge trocken ausführte, um in

dieser dem Wasser Platz zum Abflusse über den dichten Abdeckungen zu verschaffen. Doch nur stellenweise erzielte man hiermit befriedigende Ergebnisse. Nicht nur ist eine gute und gleichmäßige Einbringung der Abdeckungen sehr schwierig auszuführen, sondern es kommen auch fast stets Zerdrückungen der wasserdichten Stoffe durch die unter dem Gebirgsdruck stehende Hinterpackung vor, die selbst bei der besten Ausführung Risse und Löcher in der Abdeckung zur Folge haben und daher dem Wasser den Eintritt in das Mauerwerk gestatten. Ein weiteres Mittel zur Entwässerung besteht in der Anlage eines Netzes von Drainröhren innerhalb der Hinterpackung, um das Wasser über dem Gewölbe direkt einzelnen Schlitzten im Widerlagsmauerwerk (welch letztere bei jeder Art von Entwässerung notwendig sind) zuzuführen, und von hier aus in den Tunnelkanal abzuleiten; aber auch von diesem Mittel ist ein sicherer Erfolg nicht zu erwarten. Es scheint überhaupt fraglich, ob man durch vorherige Abdeckungen des Gewölbes in irgend einer Weise den beabsichtigten Zweck wird erreichen können, da durch dessen Setzen unter dem Gebirgsdruck ein Zerreißen der dichtenden Schichten u. s. w. fast immer veranlaßt wird.

Man sah sich daher bislang genötigt, in einzelnen besonders ungünstigen Fällen die nachteiligen Folgen des nicht zu vermeidenden nassen Mauerwerks durch Anlagen zur Ableitung des bereits durchgedrungenen Wassers möglichst zu verringern, indem man z. B. beim Martello-Tunnel bei Folkestone in England die in der Firste des Gewölbes durchfließende Wassermenge mittels einer Ausfütterung des Tunnels mit Wellblech auffing und ableitete. Beim Hauenstein-Tunnel, wo sich infolge des starken Luftzuges die Wirkung des Frostes bis auf 2000 m in den Tunnel hinein bemerkbar machte, brachte man am Nordportale einen in Ringen aufgehängten, beweglichen Vorhang an, durch den die Einwirkung des Frostes auf eine Tunnelänge von 330 m beschränkt wurde. Beim Blechingley-Tunnel leitete man die im Scheitel des Gewölbes durchfließende Wassermenge dadurch ab, daß man im Widerlager- und Gewölbe-mauerwerk von unten her bis zu der Wasser durchlassenden Stelle einen Schlitz herstellte, den man mit einer Ziegelflachschiebt verkleidete und mit Cementmörtel sorgfältig dichtete. In dem so entstandenen Kanale wurde das Wasser an den Fufs des Widerlagsmauerwerks und von hier in den Tunnelkanal geleitet. In anderen Fällen durchbrach man das Tunnelmauerwerk und stellte darüber an den wasserreichen Stellen einen Stollen her, um in diesem eine sorgfältige Abdeckung des Gewölbes vornehmen zu können. Auf diese Weise kann man dem Übelstande allerdings gründlich abhelfen, es ist aber ein sehr kostspieliges Verfahren, das außerdem in gewissem Grade die Festigkeit des Mauerwerks gefährdet und daher nur in beschränkter Weise zur Anwendung kommen darf.

Erst später hat man ein einfaches Mittel gefunden, das fertige Tunnelmauerwerk mit verhältnismäßig geringen Kosten vollständig trocken zu halten und es sind dadurch sowohl alle notdürftigen Abhilfen, von denen vorstehend einige Beispiele angeführt wurden, als auch alle bisher ziemlich erfolglosen Versuche, von vornherein die Mauerung wasserdicht herzustellen, überflüssig geworden. Dies Mittel besteht in dem Einspritzen von Cement in das fertige Mauerwerk. Es kam zuerst im Jahre 1871 beim Forst-Tunnel auf der württembergischen Schwarzwaldbahn in der nachstehend beschriebenen Weise zur Anwendung.<sup>84)</sup> Auf eine Länge von 166 m floß das Wasser in großer

<sup>84)</sup> „Über die Verdichtung nasser Gewölbstücke am Forst-Tunnel mittels Einpumpen von Portlandcement in die Fugen.“ Vortrag des Bauinspektors Daser im Verein für Baukunde in Stuttgart 1873; siehe auch hierüber Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 421 u. 430; 1891, S. 73 u. 84.

Menge durch das fertige Gewölbe. Es wurden nun während des Betriebes in den Lagerfugen des Gewölbes an den wasserdurchlassenden Stellen 4 cm weite Bohrlöcher hergestellt. Man bediente sich dazu eines leichten, beweglichen Gerüsts, das beim Herannahen eines Zuges in fünf Minuten entfernt werden konnte. Die Entfernung der Bohrlöcher voneinander betrug in der Regel 1 m, veränderte sich indessen je nach der Menge des durchfließenden Wassers. Sodann wurden die Lagerfugen auf 5 cm Tiefe ausgekratzt und auf 2 cm Weite aufgehauen. In die so vorbereiteten Fugen trieb man eine Wergkalfaterung bis auf 3 cm Tiefe von der Gewölbeleibung ein und verstrich den übrigen Teil derselben mit Cement. Das Wasser floß darauf nur noch aus den offen gelassenen Bohrlöchern aus. In diese wurde nunmehr ein aus Portlandcement und Wasser gebildeter Cementbrei eingepumpt. Die dazu benutzte Pumpe bestand aus einem hölzernen Cylinder, einem geschlossenen Kolben mit Lederscheiben, einigen gußeisernen Stücken für die Ventilsitze und einem gußeisernen Stutzen zur Befestigung eines Leinwandschlauches, an dessen anderem Ende ein Mundstück von Kupfer mit 2,5 cm weiter Lichtöffnung angebracht war. Der Cement wurde in Mengen von etwa 150 kg in einer hölzernen Kufe zu einer dicken Flüssigkeit angemacht und unter beständigem Umrühren in die Bohrlöcher eingepumpt, wobei das Mundstück des Schlauches mit Werg umwickelt und so fest in die Öffnung eines Bohrloches gedrückt wurde, daß kein Cement daneben ausfließen konnte. Bald nach dem Beginn des Pumpens, der im Scheitel des Gewölbes stattfand, trat aus den benachbarten Bohrlöchern verdünnter Cement aus, welcher sich allmählich bei fortgesetzter Arbeit dickflüssiger zeigte, bis bei einem gewissen Grade der Dickflüssigkeit desselben das Pumpen eingestellt werden konnte. Dann zog man das Mundstück rasch heraus und schlug in demselben Augenblick einen bereit gehaltenen tannenen, mit Werg umwickelten Zapfen in die Öffnung hinein. In dieser Weise wurde mit sämtlichen Bohrlöchern in einer Lagerfuge verfahren, und darauf ebenso die nächst tiefer gelegenen Lagerfugen in Angriff genommen. Zeigte sich nach diesem Vorgang noch an der einen oder anderen Stelle Wasser, so wurde dort ein weiteres Bohrloch geschlagen und ebenfalls Cement eingepumpt, bis das ganze Gewölbestück trocken war. Nunmehr trat das Wasser aus den stumpfen Stößen zweier benachbarten Zonen, die in Längen von 5 bis 7 m gemauert waren, hervor, bis auch diese Stoszfugen in gleicher Weise bis in die Nähe der Kämpferschichten gedichtet waren. Zur Erleichterung des Abflusses für das hinter dem Gewölbe sich sammelnde Wasser trieb man schließlich in Kämpferhöhe zwischen den schon bei Herstellung des Gewölbes in Entfernungen von 4 bis 5 m offen gelassenen Schlitten noch einzelne Bohrlöcher durch das Mauerwerk. Auf diese Weise gelang es, das Gewölbe vollständig trocken zu stellen; die Kosten betragen 45 Mark für das Meter Tunnel.

Nach dem beschriebenen Vorbilde wurden mit gleich günstigem Erfolge die Gewölbe mehrerer Tunnel der rheinischen Bahnstrecke Düsseldorf-Hörde gedichtet, nur mit dem Unterschiede, daß man das Wasser hinter dem Mauerwerk bis zu den in Planumshöhe angebrachten Wasserschlitzen herunterfließen und dort austreten ließ.

Es ist auch schon gelungen, den Austritt des Wassers durch das Gewölbe einfach dadurch zu verhindern, daß man die Fugen auskratzt, mit gefettetem Werg kalfaterte und schließlich mit Cement verstrich.

Das durch das Mauerwerk oder besser durch die im Fufse des Widerlagers offen gelassenen Schlitze in den Tunnel eintretende Wasser wird dem „Tunnelkanale“ zugeführt und durch diesen abgeleitet. Er liegt in der Regel in der Mitte des Tunnels. Die

Tunnelsohle erhält dementsprechend nach der Mitte zu ein Quergefälle von 15 bis 20 cm. Der Tunnelkanal hat häufig aufer dem Tunnelwasser noch das in den Bahngräben eines oberen Einschnittes sich sammelnde Wasser aufzunehmen, worauf bei Bestimmung seiner Weite Rücksicht zu nehmen ist. In der Regel genügt eine Weite von 40 bis 50 cm; selten wird eine solche bis zu 1 m (wie beim Gotthard-Tunnel) notwendig.

**§ 91. Tunnelnischen.** Die Tunnelnischen haben bei kürzeren Tunneln den Zweck, einen Raum zu schaffen, wohin die Arbeiter beim Herannahen eines Zuges sich rasch zurückziehen und in dem sie sich gesichert aufhalten können. Bei längeren Tunneln sind aufer diesen kleinen Nischen noch gröfsere Räume erforderlich zur Aufbewahrung von Bahnunterhaltungsmaterialien, sowie der Geräte für die Arbeiter, unter Umständen auch zur Benutzung als Aufenthaltsorte für die Bewachungsmannschaften.

Diese Nischen werden im Widerlagsmauerwerk angelegt, ihre Konstruktion richtet sich nach der Gebirgsbeschaffenheit. In sehr festem Gebirge, wo schon für den Tunnel kein Verkleidungsmauerwerk erforderlich ist, können auch die Nischen ohne solches hergestellt werden, während in druckhaftem Gebirge eine Verkleidung derselben zur Abstützung des Gebirges erforderlich wird, vergl. Fig. 15 bis 19, Taf. IX.

Die Abmessungen der gewöhnlichen kleinen Nischen sind 1,5 bis 2,5 m Breite, 2 bis 3 m Höhe und 0,60 bis 1 m Tiefe. Im Hauenstein-Tunnel betragen diese Abmessungen bezw. 2,3, 3,2 und 1 m; im Mont Cenis-Tunnel 1,5, 1,9 und 1 m; im Gotthard-Tunnel 2, 2 und 1 m; bei den Neubauten der Rheinischen Bahn 2, 2,25 und 0,64 m.

In Bezug auf die Anordnung der Nischen ist zu bemerken, dafs sie früher abwechselnd auf der einen und auf der anderen Seite des Tunnels angelegt wurden. Es hat diese Anordnung in doppelgleisigen Tunneln aber den Nachteil, dafs die Arbeiter dabei in die Lage kommen können, das vom Zuge befahrene Gleis überschreiten zu müssen, um beim Herannahen des Zuges die nächste Nische zu erreichen. Zur Vermeidung dieses Übelstandes legt man die Nischen in neuerer Zeit an beiden Seiten des Tunnels stets einander gegenüber, welche Anordnung auch noch den Vorzug bietet, das Auffinden der Nischen zu erleichtern. Bei eingleisigen Tunneln genügt die Anlage von Nischen auf nur einer Seite.

Die Entfernung der Nischen voneinander ist sehr verschieden; sie beträgt bei den Neubauten der Rheinischen Bahn 20 m, beim Mont Cenis- und Gotthard-Tunnel 100 m. Eine Entfernung von 20 m ist zu empfehlen. In den beiden letzteren Tunneln sind auferdem in Abständen von je 1000 m zu den oben angegebenen Zwecken gröfsere Nischen von 3 m Tiefe, gleicher Breite und Höhe mit Thorabschluss, im Gotthard-Tunnel ferner noch auf je 4000 m Entfernung solche von je 4 m Breite, 8 m Tiefe und 4 m Höhe gleichfalls mit Thorabschluss hergestellt.

**§ 92. Tunnelthore (Tunnelportale).** Der Zweck der Tunnelthore besteht darin, die Kopfböschung des Voreinschnittes über dem Tunnel zu stützen und dem Tunnel selbst einen passenden architektonischen Abschluss zu geben. Demnach ist ihre Konstruktion abhängig von der Gebirgsbeschaffenheit. Bei festem, unverwitterbarem Gestein, in dem die Böschung sehr steil steht, ist eine eigentliche Portalkonstruktion überflüssig; man kann sich damit begnügen, das Mauerwerk frei vortreten zu lassen und durch kräftige Bossenquader hervorzuheben. Anders in mildem Gebirge; hier ist eine kräftige Stützmauer bis zur äufseren Gewölbehöhe erforderlich, um die Einschnittsböschungen zu halten, ähnlich wie bei Brücken unter Dämmen. Man pflegt aus architektonischen Rücksichten das Mauerwerk in der Regel noch über diese Linie hinaus

fortzusetzen; es ist aber dabei nicht außer Acht zu lassen, daß diese Teile des Thores nur einen dekorativen Zweck haben und durch die Kopfböschung nicht belastet werden dürfen, da der Kopf des Tunnelgewölbes, auf dem sie ruhen, nicht geeignet ist, einen Schub in der Längsrichtung des Tunnels aufzunehmen. Dagegen kann ein derartiger dekorativer Portalaufbau über dem Gewölbe wohl auch dem praktischen Zwecke dienen, einzelne herabrollende Steine oder Ablösungen von der Kopfböschung aufzufangen und zu verhindern, daß sie auf die Gleise fallen. Aus letzterem Grunde pflegt man das Tunnelgewölbe bezw. Portal 1 bis 2 m vor den Fufs der Kopfböschung vortreten zu lassen. Selbstverständlich ist für eine gute Abwässerung des Portals Sorge zu tragen. Auf Taf. IX sind Tunnelthore in verschiedener Bauart dargestellt.

### Litteratur,

#### Tunnelmauerung betreffend.

- Gättschmann. Grubenmauerung. Schneeberg 1831.
- Mackensen. Ausrüstung der Lehrbögen in den Tunneln bei Naensen und Ippensen. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1866, S. 416.
- Kauffmann. Über Tunnelmauerung. Allg. Bauz. 1868/69.
- Rziha, Fr. Die Entwässerung des Tunnelmauerwerks. Zeitschr. f. Bauw. 1869, S. 315.
- Entwässerung des Tunnelmauerwerks. Deutsche Bauz. 1869, S. 275.
- Dichtung des Gewölbes im Forst-Tunnel. Deutsche Bauz. 1873, S. 344.
- Gewölbemauerwerk im Gotthard-Tunnel. Deutsche Bauz. 1877, S. 159.
- Wasserdichte Abdeckung der Tunnelgewölbe mit Asphaltplatten. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1881, S. 319.
- Entwässerung der Tunnelgewölbe. Deutsche Bauz. 1881, S. 326.
- Dolezalek. Der Ausbau des Gotthard-Tunnels. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1882, S. 169 u. a.
- Hat man besondere Schutzanlagen, um die Eisbildung in Tunneln, welche die Mauerung zerstört und auch den Betrieb gefährdet, möglichst zu beheben? Welche Erfahrungen hat man mit solchen Anlagen gegen Eisbildung gesammelt? Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 9. Supplementbd. 1884, S. 103.
- Welche Vorkehrungen zur nachträglichen Entwässerung der Gewölbe nasser Tunnel sind bisher mit Erfolg zur Ausführung gebracht? Dasselbst S. 104.
- Bräuler. Tunnelgewölbe mit unsymmetrisch verteiltem Schrägdruck. Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 277.
- Blum. Über die Trockenlegung nasser Tunnel und Widerlager. Centralbl. d. Bauverw. 1890, S. 421 u. 430.
- Gelpke, F. A. Die Trockenlegung nasser Tunnelgewölbe und Widerlager. Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 73 u. 84.
- Nixdorff. Die Mörtelbereitung beim Bau des Marienthaler Tunnels. Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 168. — Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1893, S. 228.
- The Masonry Lining for the Mullan Tunnel, Northern Pacific Railway. Engng. news 1894, II. S. 334.
- Tunnelrüstung von Samuel Mattson. Engng. news 1895, Nov. S. 327.
- Verdrückungen im Tunnel von Ronco auf der Hilfslinie der Giovi-Bahn. Centralbl. d. Bauverw. 1897, S. 143.
- Ruegenberg. Nachträgliche Ausmauerung im Buchholzer Tunnel bei Altena. Centralbl. d. Bauverw. 1895, S. 298.
- Bauchal. Amelioration des tunnels de la ligne de Paris au Havre. Revue gen. des chem. 1898, S. 423.
- Betonverwendung beim Bau der württembergischen Eisenbahn Tuttingen-Sigmaringen, insbesondere für Tunnelbauten. Deutsche Bauz. 1895, S. 453.
- Herstellung wasserundurchlässigen Tunnelmauerwerks mit Hilfe von Beton und Asphalt. Engng. record 1899, Bd. 40, S. 505.
- Wasserdichte Gewölbeabdeckung für Tunnel (D. R. P. No. 102692) von Chr. Girr in Herborn. Centralbl. d. Bauverw. 1900, S. 124.
- Ausmauerung eines Holztunnels mit Backsteinmauerwerk auf der Norfolk and Western railway. Engng. news 1900, I. S. 195.
- Frahm. Die Dichtungsarbeiten im Coudray-Tunnel auf der französischen Nordbahn. Centralbl. d. Bauverw. 1900, No. 76, S. 463.
- Abdeckung wasserdichter Tunnelgewölbe. Centralbl. d. Bauverw. 1900, S. 116.
- Ersatz der Holzverkleidung eines Tunnels durch ein Backsteingewölbe ohne Unterbrechung des Verkehrs. Génie civil 1900, Bd. 37, S. 136.

### III. Allgemeines für die Ausführung des Tunnelbaues.

#### § 93. Absteckung der Tunnellinie. Festlegung der Tunnelaxe über Tage.

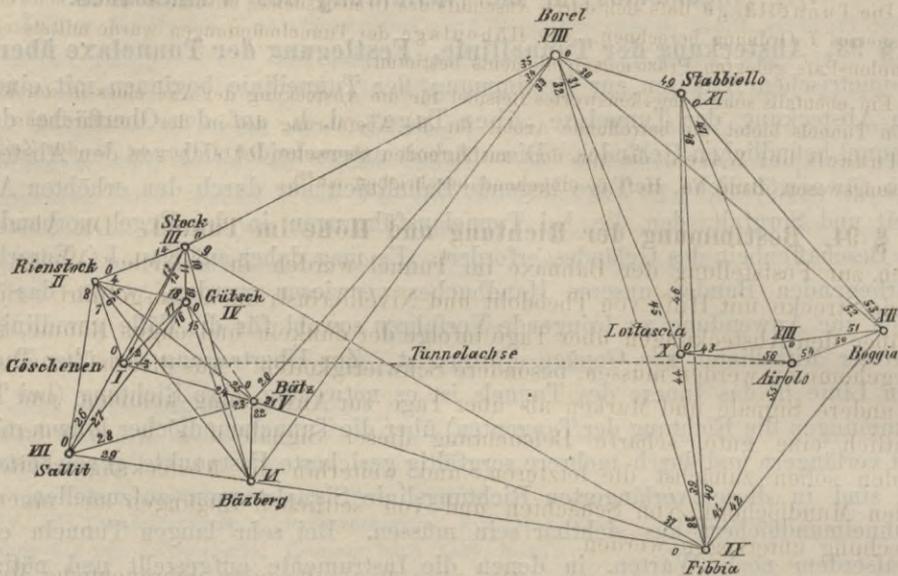
Die geometrischen Arbeiten zur Bestimmung der Tunnellinie beginnen mit einer sorgfältigen Absteckung der Tunnelaxe „über Tage“, d. h. auf der Oberfläche des über dem Tunnel befindlichen Geländes. Diese Arbeit unterscheidet sich von den Absteckungsarbeiten für gewöhnliche zu Tage liegende Bahnlagen nur durch den erhöhten Aufwand von Zeit und Sorgfalt, den die bei Tunnelausführungen in der Regel vorhandene gebirgige Beschaffenheit des Geländes erfordert. Es mag daher auf Kap. I („Vorarbeiten“) des vorliegenden Bandes unseres Handbuches verwiesen werden, worin das im allgemeinen zur Anwendung zu bringende Verfahren sowohl für die Fälle geradliniger, als gekrümmter Mittellinien zur Genüge erörtert ist. Zur Übertragung der über Tage festgelegten Linie in das Innere des Tunnels ist es notwendig, ihre Richtung (bei Tunneln in Krümmungen die Richtung der Tangenten) über die Tunnelmundlöcher hinaus möglichst weit zu verlängern und durch mehrere sorgfältig gesicherte Festpunkte genau festzulegen. Darauf sind in dieser verlängerten Richtungslinie Signalstangen aufzustellen, die von den Tunnelmundlöchern aus sichtbar sein müssen. Bei sehr langen Tunneln errichtet man außerdem noch Warten, in denen die Instrumente aufgestellt und nötigenfalls befestigt werden. Aufser den Festpunkten für die Richtung sind noch solche für die Höhen- und Längenmessung, namentlich in der Nähe der Tunnelmundlöcher und etwaiger Schächte, in gesicherter Lage herzustellen und zwar an jedem Mundloche bzw. Schachte wenigstens deren zwei, um sich stets Gewissheit über die Unveränderlichkeit ihrer Lage verschaffen zu können. Bei längeren Tunneln empfiehlt es sich, zur dauernden Sicherstellung der Festpunkte über Tage während der ganzen, auf eine Reihe von Jahren sich erstreckenden Bauzeit, diese sämtlich auf besonders dazu herzustellenden, massiven Mauerklötzen anzubringen.

Es ist noch hervorzuheben, dafs die Absteckung der Tunnellinie, insbesondere bei gröfseren Tunnelbauten, mit der peinlichsten Sorgfalt geschehen mufs und dafs mehrfache Weiderholungen der bezüglichen Arbeiten erforderlich sind, um die Beobachtungsfehler auf ein Mindestmafs zu beschränken, da lediglich auf der Genauigkeit dieser Absteckung die Möglichkeit beruht, mit den von beiden Seiten aus vorzutreibenden Richtstollen im Innern des Berges richtig zusammenzutreffen.

**1. Die Absteckung des Gotthard-Tunnels** ist als eines der hervorragendsten Beispiele der bisher ausgeführten Absteckungen von Tunnelaxen. Bei der außerordentlichen Länge des Tunnels von **14,9 km** und zwischen den beiden Mundlöchern liegenden Bergspitzen der Hochalpen war ein direktes Durchrichten und Ausstecken der Linie selbstverständlich ausgeschlossen, und konnte diese nur durch eine Dreiecksmessung in grofsartigem Mafsstabe festgelegt werden. Die Dreiecksmessung wurde zweimal durch zwei verschiedene Personen ganz unabhängig voneinander zu verschiedenen Zeiten und mit verschiedenen Dreiecksnetzen ausgeführt und zwar zum erstenmale durch den Geometer Gelpke, und zum zweitenmale durch den Geometer Dr. Koppe. Wir beschränken uns auf eine kurze Darstellung der letzteren nach der von Dr. Koppe in der Zeitschr. für Vermessungswesen, Band IV, Heft 6, Jahrg. 1876 gegebenen eingehenden Beschreibung.

In Fig. 244 ist das betreffende Dreiecksnetz dargestellt. Es besteht aus einer Anzahl gröfserer und kleinerer Dreiecke, welche letzteren erforderlich waren, um an die tiefliegenden und daher nur eine beschränkte Aussicht gestattenden Endpunkte der Tunnelinie (Airolo und Göschenen) anschliefsen zu können.

Die an sich sehr schwierige Feststellung der Dreieckspunkte wurde erleichtert durch Benutzung der vorzüglichen, mit Höhenkurven versehenen Karte des Schweizer Alpenklubs, in der sich erkennen liefs, ob zwei Punkte gegenseitig sichtbar waren oder nicht. Als Signale dienten 1,5 m lange, 7 bis 10 cm weite eiserne Röhren, die am oberen Ende mit Gewinde versehen waren. Die Röhren wurden an den

Fig. 244. *Absteckung des Gotthard-Tunnels.* M. 1 : 150 000.

ausgewählten Punkten auf dem Felsen aufgesetzt und kegelförmig ummauert. Auf dieses Fußrohr wurde alsdann ein zweites Rohr geschraubt und in das letztere eine rot-weiß angestrichene, mit einer Flagge versehene Stange eingesetzt. Solche Signale konnten bei guter Beleuchtung auf Entfernungen bis zu zwei Meilen scharf eingestellt werden. Zu den Winkelmessungen benutzte man einen achtzölligen Theodoliten von Kern in Aarau. Jeder Winkel wurde zehnmal gemessen und zwar wurden bei jeder einzelnen Messung die Signale viermal anvisiert, wobei nach jeder Visur der Theodolit um 5 bis 10° verstellt wurde, um die Teilungsfehler möglichst unschädlich zu machen.

Der mittlere Fehler der Winkelbestimmungen betrug etwas mehr als 1 Sekunde. Das Dreiecksnetz wurde dann als Ganzes nach der Methode der kleinsten Quadrate ausgeglichen, um die allen Messungen am besten entsprechenden Ergebnisse zu erhalten. Die Ausgleichsrechnung ergab als wahrscheinlichen Fehler der durch die Dreiecksmessung von den beiden Endpunkten aus festgelegten Tunnelrichtung für Göschenen etwa 0,8 Sekunden, für Airolo etwa 0,7 Sekunden. Danach berechnet sich eine wahrscheinliche Abweichung der Axe in der Mitte des Tunnels von der geraden Linie von etwa 0,04 m, bei einer Entfernung dieses Punktes gleich rund 8 km von den beiderseitigen Winkelpunkten. In Wirklichkeit fand sich bei dem am 29. Februar 1880 erfolgten Durchschlage des Richtstollens eine Abweichung von 0,30 m.

**2. Absteckung des Simplon-Tunnels.** Zur Festlegung seiner Axe ist von dem schweizerischen Ingenieur Rosenmund ein Dreiecksnetz aus 11 Winkelpunkten, die meist auf Bergspitzen zwischen 2500 und 3600 m Meereshöhe liegen, weshalb die Winkelmessung sehr schwierig war, festgelegt worden. Nur 2 Winkelpunkte befinden sich in den Thälern der Rhône und der Diveria, und zwar liegen sie in der Tunnelaxe zwischen den Richtstollenmündungen und den vor diesen errichteten Beobachtungswarten.

Die Winkel des Dreiecksnetzes sind so genau festgelegt, daß der Fehler in der Bestimmung der Tunnelrichtung kaum eine Bogensekunde beträgt. Bei dieser großen Genauigkeit ist beim Simplon-Tunnel eine Abweichung von höchstens 10 cm zu erwarten. Bei den Messungen haben auch zur Erzielung größerer Genauigkeit die an den Tunnelmündungen infolge der großen Gebirgsmassen auftretenden Lotabweichungen Berücksichtigung gefunden.

Um während des Baues eine möglichst bequeme und schnelle Nachprüfung der Tunnelrichtung vornehmen zu können, sind auch hier, wie beim Gotthard-Tunnel, auf den den Beobachtungswarten gegenüberliegenden Höhen in der senkrechten Ebene der Tunnelaxe feste, nachts beleuchtete Marken angebracht.

Da der Simplon-Tunnel an der Nordseite eine 150 m lange, 300 m-Kurve, an der Südseite eine solche von 300 m Länge bei 400 m Halbmesser aufweist, so sind die Richtungsstollen an beiden Ausgängen in die Tunnelaxe gelegt worden, um von den Warten aus den Durchblick zu ermöglichen.

Die Absteckinstrumente haben Fernrohre mit 40facher Vergrößerung, die um eine senkrechte und wagerechte Axe drehbar sind.

Die Tunnellänge liefs sich durch Anschluß des Dreiecksnetzes an eine Seite des schweizerischen Dreiecksnetzes I. Ordnung berechnen. Die Höhenlage der Tunnelmündungen wurde mittels eines über den Simplon-Pafs gelegten Präzisionsnivelements bestimmt. —

Ein ebenfalls sehr bemerkenswertes Beispiel für die Absteckung der Axe eines in der Krümmung liegenden Tunnels bietet die betreffende Arbeit für die Ausführung des in der Gotthardbahn liegenden Kehr-Tunnels bei Wasen, die von dem ausführenden Geometer Dörfflinger in der Zeitschr. für Vermessungswesen, Band VI, Heft 6, eingehend beschrieben ist.<sup>85)</sup>

**§ 94. Bestimmung der Richtung und Höhe im Tunnel.** Die Absteckungsarbeiten zur Feststellung der Bahnaxe im Tunnel werden in ähnlicher Weise wie für die freie Strecke mit Hilfe von Theodolit und Nivellierinstrument ausgeführt. Sie bieten gegenüber den Absteckungen über Tage infolge der dunkeln und engen Räume, in denen sie vorgenommen werden müssen, besondere Schwierigkeiten. Aus diesem Grunde müssen dabei andere Signale und Marken als über Tage zur Anwendung kommen, und zwar ist namentlich eine gute, scharfe Beleuchtung dieser Signale u. s. w. erforderlich. Im folgenden sollen zunächst die letzteren, und weiterhin die Absteckungsarbeiten selbst von den Mundlöchern, von Schächten und von seitlichen Zugängen aus einer kurzen Besprechung unterzogen werden.

**1. Signale und Instrumente.** Die über Tage allgemein gebräuchliche Meßstange (Piquet, Bake u. s. w.) wird unter Tage ersetzt:

- a) Durch die Lotschnur, die entweder unmittelbar von vorn mit einer Blendlaterne beleuchtet oder dadurch sichtbar gemacht wird, dafs man hinter sie eine mit mattem Glas oder Ölpapier versehene Lampe hält, auf der die Lotschnur als scharfer, schwarzer Strich erscheint;
- b) durch Scheiben von dunkelgefärbtem Glas, in denen eine durchsichtige Linie eingeschliffen oder ausgespart ist. Diese werden von hinten beleuchtet;
- c) durch Blechtafeln, die in der Mitte mit einem runden Loche und einem Schlitze versehen sind und gleichfalls von rückwärts beleuchtet werden;
- d) durch Hänge- oder Setzlampen, deren Flamme unmittelbar invisirt wird. Sie werden mittels einer kurzen Schnur oder Messingkette aufgehängt; letztere haben einen tellerförmigen Untersatz, der durch drei Fußschrauben mit Hilfe einer Dosenlibelle wagerecht gestellt werden kann.

Zur Vermeidung der Zugluft und des störenden Flackerns der Flamme empfiehlt es sich, die Lampen mit gewöhnlichen Glascylindern zu versehen. Anstatt der Setzlampen verwendet man auch kurze, dünne Stearinkerzen, die unmittelbar auf die anzuvisierenden Punkte gestellt werden. Beim Gotthard-Tunnel kamen für die Setzlampen Dreifüfse zur Anwendung, die so gebaut waren, dafs an Stelle der Lampen unmittelbar ein Theodolit centrisch eingesetzt werden konnte. Dadurch wurde das Aufstellen des letzteren wesentlich vereinfacht, indem eine besondere Centrierung desselben nicht mehr erforderlich war.

Für sehr lange Tunnel, wo das Bedürfnis einer Übertragung der Richtung auf erhebliche Entfernungen eintritt, hat man sich bestrebt, Signale von kräftigerer Lichtwirkung herzustellen, und als solche Magnesiumdrahtlichter und elektrisches Licht in Anwendung gebracht. Erstere haben den Übelstand, dafs sie zu viel Rauch entwickeln,

<sup>85)</sup> Vergl. auch Dr. C. Koppe. Bestimmung der Absteckungselemente für die sieben Kehrtunnel der Gotthardbahn. Die Eisenbahn 1880, II. S. 34 u. 40.

sie sind daher nur bei Abschlusspunkten (Punkten vor Ort) zu verwenden. Erfahrungen am Gotthard und Mont Cenis haben gezeigt, daß unter günstigen Bedingungen helle Lichtsignale noch bis auf mehrere Kilometer Entfernung deutlich sichtbar sind.

Als Richtungsmarken werden entweder in der Sohle starke, gegen Beschädigungen genügend zu sichernde Festpfähle gesetzt, oder wenn dies (z. B. der Wasserrösch halber) nicht thunlich ist, in der Firste Nägel oder Klammern angebracht. Besonders geeignet zu dem genannten Zwecke sind letztere, weil sie einen größeren Spielraum zur genauen Festlegung der Mittellinie durch einen Feilstrich gestatten und daher von vornherein endgiltig befestigt werden können. Wenn die Richtungsmarken in der Firste angelegt werden müssen, so ist besonders darauf zu achten, daß dies an möglichst festen, unverrückbaren Punkten geschieht. An der Zimmerung dürfen daher nur vorläufige, niemals endgiltige Richtungsmarken angebracht werden.

Als Höhenmarken dienen gewöhnlich die für die Richtung gesetzten Pfähle. Bei langen Tunneln schafft man in angemessenen Entfernungen voneinander auf Felsstufen oder durch seitlich an geschützten Stellen eingemauerte Pfähle u. s. w. sichere Höhenpunkte. Für die Längenmessungen können die für Richtung und Höhe gesetzten Pfähle ebenfalls als Festpunkte gebraucht werden; außerdem sind die Längen in gewissen Abständen an den Seitenstößen bzw. Widerlagern auf kleinen Tafeln zu bezeichnen. Alle zum Zwecke der Richtungs-, Höhen- oder Längenbestimmung gesetzten Marken sind in ein besonderes Verzeichnis einzutragen.

Für die Richtungsbestimmung im Tunnel, und falls dieser nicht geradlinig ist, auch für die Winkelmessungen werden meistens Gruben-Theodoliten benutzt, deren Bauart besonders dadurch gekennzeichnet ist, daß alle empfindlichen Teile mittels starker metallener Schutzdecken und Hülsen gegen Beschädigungen durch herabtropfendes Wasser und Schmutz gesichert sind und daß sich auch sehr nahe liegende Signale mit großer Schärfe erkennen lassen. Wenn dies nicht erforderlich ist, können auch die gewöhnlichen Theodoliten gebraucht werden. Beim Bau des Gotthard-Tunnels wurde ein kleines Durchgangsinstrument, zum Durchschlagen eingerichtet, ohne Horizontal- und Vertikalkreis angewandt, das sich als sehr zweckmäßig erwies.

Die Längen werden mit der Meßlatte oder der Meßkette in der bekannten Weise gemessen.

Die bei den Höhenbestimmungen zu verwendenden Nivellierlatten müssen, der geringen Höhe des lichten Raumes entsprechend, kurz sein und im übrigen, wie über Tage, auf weißem Grunde eine scharfe schwarze Einteilung tragen, die durch eine Schirmlampe zu beleuchten ist. Bei größeren Entfernungen benutzt man auch Schieber aus dunklem Glas oder Blech, die an der Nivellierlatte eingestellt werden. Solche Schieber sind mit einem Kreuz versehen, das bei Glas eingeschliffen, bei Blech durch eingeschnittene Schlitze gebildet wird.

**2. Ausführung der Absteckungsarbeiten im Tunnel.** Bei den Arbeiten zur Übertragung der im Felde abgesteckten Linie in das Innere des Tunnels unterscheidet man vorläufige und endgiltige Absteckungen. Erstere dienen zur vorläufigen Richtungs- und Höhenbestimmung, um für die bergmännischen Arbeiten einen Anhalt zu gewinnen. Sie werden auf einfachste Weise durch die Steiger (Aufseher, Oberhauer) ausgeführt, indem die durch die Festpunkte gegebene Richtung und Höhe durch Einrichten von Stäben oder Lotschnüren mit freiem Auge bzw. mit Hilfe von Setzlatten auf kurze Längen in den Tunnelrichtstollen übertragen wird. Die endgiltigen Absteckungen beziehen sich auf die Verbesserungen der vorläufigen Absteckungen, namentlich aber auf die Fest-

legung der Festpunkte. Sie müssen mit aller Sorgfalt durch den bauleitenden Ingenieur selbst unter Anwendung guter Instrumente ausgeführt werden, von deren Berichtigung der Ausführende sich vor jeder wichtigen Absteckung Überzeugung zu verschaffen hat. Soll zunächst die Linie von außen her in den Tunnel hinein verlängert werden, so stellt man den Theodoliten am besten im Tunnel oder im Stollen in der Nähe des Mundlochs auf, um so aus dem Dunkeln ins Freie visieren zu können, da sich dann die draußen stehenden Signale besser erkennen und sicherer einstellen lassen, als umgekehrt, wenn man vom Tage aus nach Signalen unter Tage visiert.

Jede endgiltige Absteckung ist auf wenigstens drei Festpunkte auszudehnen, um über deren unverrückte Lage Gewissheit zu erhalten. Ist die Tunnelaxe mit Hilfe einer Dreiecksmessung festgelegt worden, so sind an deren Endpunkten alle zwischen der Tunnelrichtung und den Richtungen nach den sichtbaren Dreieckspunkten gebildeten Winkel wiederholt abzusetzen, um aus dem Mittel dieser Absetzungen einen erhöhten Grad von Genauigkeit für die Tunnelrichtung zu erhalten, und darauf in dieser Richtung die Festpunkte anbringen zu können. Zur Kontrolle der richtigen Winkelmessung dienen oftmalige, in gewissen Zeitabständen unabhängig voneinander vorzunehmende Wiederholungen.

Als Beispiel für Absteckungen dieser Art soll nachstehend die Feststellung der Richtung im Gotthard-Tunnel kurz beschrieben werden.<sup>86)</sup>

Der rund 15 km lange St. Gotthard-Tunnel liegt nahezu auf seiner ganzen Länge in gerader Linie; nur am südlichen Ende wird durch eine scharfe Krümmung die direkte Visur in den Tunnel hinein verhindert. Um diese dennoch zu ermöglichen, wurde ein besonderer Richtungsstollen in der Verlängerung der geradlinigen Hauptaxe bis zu Tage getrieben. Vor den beiderseitigen Endpunkten des Tunnels wurden darauf in Entfernungen von 358 bzw. 585 m von den Mündungen Observatorien errichtet und in diesen je eines der oben erwähnten Durchgangsinstrumente dauernd aufgestellt. Von den Observatorien aus sind nun zunächst die berechneten Richtungswinkel abgesetzt worden; die hierdurch bestimmte Tunnelaxe wurde alsdann vorwärts auf die Berghöhen oberhalb des betreffenden Tunnelleinganges etwa um 1000 bis 1200 m verlängert, und durch je eine auf einer Felswand angebrachte, mit einer kleinen weißen Scheibe bemalte Eisenplatte festgelegt. Darauf nahm man von den betreffenden Observatorien aus wiederholte Messungen der zwischen diesem, den sichtbaren Höhenpunkten des Dreiecksnetzes und der weißen Scheibe eingeschlossenen Winkel vor, nach deren Ergebnis die letztere so lange verschoben wurde, bis man aus dem Mittel einer Zahl von 60 Messungen für jeden Winkel die Lage der Scheibe definitiv feststellte und den dadurch erreichten Grad von Genauigkeit für die Tunnelrichtung festhielt. Da die Richtungsangaben im Tunnel bei Nacht geschahen, so wurde schliesslich in die Mitte der auf die beschriebene Weise oberhalb bei jeder Tunnelmündung als endgiltige Richtungsmarke angebrachten Scheibe ein Loch von 1 cm Durchmesser gebohrt, um hinter demselben ein Licht aufstellen zu können. Dadurch erschien das Loch wie ein kleiner weißer Stern, der sich sehr genau einstellen liess. Durch Niederschlagen des auf dieses Lichtsignal gerichteten Durchgangsinstrumentes kam dessen Fernrohr genau in die Tunnelaxe und so wurde der erste Punkt im Tunnel mittels vier- bis achtfacher Einvisierung des Signallichtes festgelegt. Die weiteren Punkte im Innern des Tunnels wurden mit Hilfe eines kleineren Durchgangsinstrumentes bestimmt und jeder derselben durch wenigstens achtmaliges Umschlagen des Instrumentes kontrolliert. Diese Punkte wurden darauf an eine in der Firste oder Sohle eingelassene starke Eisenklammer durch Lotung übertragen und auf ihr durch Einfeilen einer Marke genau bezeichnet. Jede endgiltige Absteckung wurde ohne Rücksicht auf die früher bestimmten Festpunkte von Anfang bis zu Ende ganz selbständig durchgeführt. Die Verlängerung der Axe bis vor Ort des Richtstollens geschah von 100 zu 100 m.

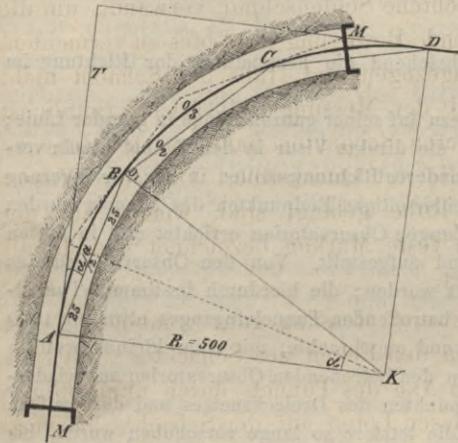
Zur Verständigung der mit der Absteckung beschäftigten Leute untereinander diente eine telegraphische Verbindung mit feststehenden Drahtleitungen und zwei Morse-Apparaten. Für die Arbeiten im unfertigen Tunnel wurden Feldtelegraphen mit aufrollbarem Kabel benutzt. Für diese Zwecke ist jetzt die Anwendung eines Telefons zu empfehlen.

<sup>86)</sup> Dolezalek. Hilfsmittel für die Richtungsangaben im Gotthard-Tunnel. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1880, S. 317. — Dr. C. Koppe. Die Absteckung der Axe im Gotthard-Tunnel. Die Eisenbahn 1880, I. S. 43.

Ein Beispiel für die Absteckung in einem mit Hilfe eines Schildes hergestellten Tunnels bietet das beim Bau des St. Clair-Tunnels angewandte und im § 83, S. 248 beschriebene Verfahren, worauf hier verwiesen wird.

Zur Absteckung eines in Krümmungen liegenden Tunnels unter Tage ist man darauf angewiesen, entweder ein Vieleck in den Kreis oder ein solches um den Kreis zu konstruieren, von dessen Seiten aus dann die Absetzung der Kreislinie erfolgt. In ersterem Falle bilden die Seiten des Vielecks Sehnen, im zweiten Falle Berührende (Tangenten) der abzusteckenden Bögen. Für die vorliegenden Zwecke ist ein im Kreis beschriebenes Vieleck dem den Kreis umschließenden deshalb vorzuziehen, weil bei ersterem die Brechpunkte in die Mittellinie des Tunnels fallen, wo man beim Aufstellen der Instrumente am wenigsten behindert ist. Die Seiten des Polygons (Sehnen) werden zweckmäßig so lang angenommen, als die freie Aussicht zwischen den Stößen dies gestattet; dabei ist zu beachten, daß bei einer Stollenweite von 2,5 m die Pfeilhöhe das Maß von 1 m nicht wesentlich übersteigen darf.

Fig. 245. Absteckung im Tunnel.



Aus Fig. 245 ist die Absteckung eines Bogens im Stollen mit Hilfe von Sehnen ersichtlich. Nachdem die Länge der Sehnen  $AB = s$  festgesetzt ist, ergibt sich der Winkel  $TAB = \frac{\alpha}{2}$  aus der Beziehung  $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{s}{2R}$ ; sodann der Winkel  $ABC$  beim nächsten und allen folgenden Aufstellungspunkten, die um die gleiche Sehnenlänge  $s$  voneinander entfernt angenommen werden, Winkel  $ABC = 180 - \alpha$ . Hiernach kann die Absteckung des Sehnenvielecks leicht bewirkt werden. Will man von diesen Sehnen aus noch weitere Punkte der Mittellinie bestimmen, so geschieht das nach dem S. 233 des I. Kapitels dieses Buches („Vorarbeiten“, 3. Aufl.) angegebenen Verfahren. Ein anderes einfaches Verfahren

zur Absteckung von Kreisbögen im Stollen ist dasjenige von der verlängerten Sehne aus, das S. 235, Kap. I näher erörtert wurde. Es ist besonders bei vorläufigen Absteckungen sehr brauchbar.

Es ist selbstverständlich, daß alle Bogenabsteckungen während des Baues vielfach wiederholt werden müssen, um die hierbei sehr leicht vorkommenden Messungsfehler thunlichst zu vermeiden.

**3. Absteckung der Tunnelaxe in Schächten.** Vor Beginn der Abteufung eines Schachtes in der Tunnelaxe ist die Absteckung der letzteren über Tage und die Lage der betreffenden Festpunkte in der Nähe des Schachtes wiederholt genau zu prüfen. Darauf ist nach Fertigstellung des Schachtes eine Übertragung der Tunnellinie auf seine Sohle erforderlich, um danach die Inangriffnahme des Richtstollens bewirken zu können. Diese Übertragung geschieht entweder durch Boussolen, durch Theodoliten oder durch einfache Lote. Die Boussolen geben leicht ungenaue Resultate, da infolge des in den Bauten verwendeten Eisens die Magnetnadel aus dem Meridian abgelenkt werden kann. Auch die Theodoliten haben sich im allgemeinen für diesen Zweck nicht besonders gut bewährt, doch fand ein Theodolit mit durchschlagbarem Fernrohre beim Bau des Severn-Tunnels (vergl. § 95) mit gutem Erfolge Verwendung. Die Tunnelaxe mußte hier auf

eine Länge von 3353 m von einem 54,9 m tiefen Schachte aus festgelegt werden und betrug der Fehler an der Durchschlagstelle nur 76 mm. Das dabei beobachtete Verfahren war kurz folgendes: Auf der Sohle des Schachtes, in den Anfang des Stollens hineinreichend, wurde ein 183 m langer Draht zwischen verstellbaren Schrauben eingespannt und mit elektrischem Licht beleuchtet, sodaß er durch das nach unten gerichtete Fernrohr eines unmittelbar neben dem Schachte über Tage in der Vertikalebene der Mittellinie aufgestellten Theodoliten anvisiert und mit Hilfe der Stellschrauben in die genaue Lage der Tunnelaxe eingestellt werden konnte, wobei die unmittelbar anzuvisierende Länge des Drahtes allerdings nur 4,26 m betrug.

Ziemlich sichere Ergebnisse werden durch das einfache Abloten erzielt, wenn dies mit genügender Sorgfalt und Vorsicht geschieht. Der Vorgang des Ablotens der Axe in die Teufe ist folgender: Man richtet über der Schachtmündung genau in der Tunnelaxe ein gut gearbeitetes Lineal ein, befestigt es mit Nägeln oder Schrauben und hängt sodann thunlichst nahe an den Stößen des Schachtes an diesem Lineale zwei Lotschnüre auf, deren genaue Lage in der Axe wiederholt zu prüfen ist. Zu den Lotschnüren wird zweckmäÙig feiner Draht oder geflochtene Seidenschnur verwandt, um die bei Anwendung gedrehter Schnüre eintretende drehende Bewegung des Lotes zu vermeiden. Die Schnüre müssen vor dem Gebrauche stark angezogen und, falls der Schacht nicht trocken ist, naß gemacht werden, damit sie bei der Messung selbst sich thunlichst wenig verändern. Um die Lote namentlich in tiefen Schächten baldigst zur Ruhe zu bringen, werden sie unten in GefäÙe getaucht, die mit Quecksilber, Öl oder Wasser gefüllt sind. Nachdem die Lote vollständig zur Ruhe gelangt sind, werden auf der Sohle die Richtungspunkte genau bestimmt, durch feste Marken bezeichnet und darauf die Tunnellinie über diese hinaus weiter verlängert.

Es empfiehlt sich, zur Nachprüfung eine zweite Messung ganz unabhängig von der ersten in der Weise vorzunehmen, daß man in den Ecken des Schachtes zwei Lote einhängt, deren Lage über Tage in Bezug auf die Axe des Tunnels durch unmittelbare Messung bestimmt wird. Von den beiden nach diesen Loten auf der Schachtsohle festzulegenden Punkten aus werden sodann mit Hilfe eines Gruben-Theodoliten die durch die erste Messung festgelegten Punkte in der Tunnellinie nachgeprüft. Diese Messung ist allerdings umständlicher als erstere; da indessen eine gröÙere Standlinie (die Diagonale des Schachtquerschnittes) zu Grunde liegt, so ist sie besonders zur Prüfungsmessung sehr geeignet.

So einfach diese Messungsarbeiten an und für sich erscheinen, so langwierig und zeitraubend ist deren Ausführung, da die Lote oft lange Zeit gebrauchen, bis sie ruhig genug hängen und da die kurzen, durch die Lote bestimmten Entfernungen, von denen aus die weiteren Absteckungen vorgenommen werden müssen, außergewöhnliche Sorgfalt und oftmalige Wiederholungen der Arbeit unbedingt verlangen.

Die Bestimmung der Tiefe (bergmännisch „Saigerteufe“) im Schachte kann mit Hilfe eines hineingelassenen Eisendrahtes oder des Treibeiles erfolgen, auch wird wohl aus schmalen Brettern eine besondere MeÙbahn behufs Messung mit Latten in den Schächten hergerichtet.

Bei Absteckung der Tunnelrichtung von donlägigen (geneigten) Schächten oder seitlichen Zugängen aus gestalten sich die Vermessungsarbeiten weit einfacher als bei senkrechten Schächten, weil das Übertragen der Linie durch Lote in Wegfall kommt, und an deren Stelle die unmittelbare trigonometrische Messung tritt.

## Litteratur,

## Absteckungsarbeiten betreffend.

- Gelpke. Bestimmung der Tunnelachse des St. Gotthard-Tunnels. Civ.-Ing. 1870, Bd. XVI.
- Koppe, C. Die Absteckung der Achse des St. Gotthard-Tunnels. Eisenbahn 1877, S. 89 u. 97.
- Dolezalek. Hilfsmittel für die Richtungsangabe im Gotthard-Tunnel. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1878, S. 185.
- Dolezalek. Vortrag über den Durchschlag und die Richtungsbestimmung des Gotthard-Tunnels. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1880, S. 317.
- Gelpke, O. Die am Gotthard-Tunnel vorgenommenen letzten Richtungsfeststellungen. Zeitschr. für Vermessungswesen 1880, S. 101.
- Koppe, C. Über die Bestimmung der Absteckungselemente für die sieben Kehrtunnel der Gotthard-Bahn. Eisenbahn 1880, S. 34.
- Die Absteckungsarbeiten am Gotthard-Tunnel. Dasselbst 1880, S. 43.
- Bemerkungen über die Richtungsangabe im Severn-Tunnel. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1883, S. 153.
- Vorarbeiten und Peilungen für einen Tunnel zwischen Schottland und Island. Glaser's Ann. f. d. Gew. 1886, Nov. S. 187.
- Verfahren beim Abstecken von Tunneln. Transact. of the american soc. of civ. eng. 1892, Okt. S. 453.
- Jordan. Handbuch der Vermessungskunde. Stuttgart 1890—1895.
- Absteckungsarbeiten der Untergrund-Verbindung zu Leavenworth, Kansas. Engineering 1894, I. S. 568.

**§ 95. Erweiterung und Überhöhung des Tunnel-Ausbruch-Profils.** Bei der Herstellung des Tunnelprofils ist mit Rücksicht auf geringe Mefsfelder beim Abstecken des Profils, sowie mit Rücksicht darauf, daß für den Profilabbau selbst eine unbedingte Genauigkeit nicht verlangt werden kann, auf eine geringe Erweiterung des Aushubprofils Bedacht zu nehmen, um für die Ausführung der Mauerung einen gewissen Spielraum zu erhalten. Es genügt für letzteren eine ringförmige Profilerweiterung von 10 bis 15 cm.

Außerdem ist bei Anwendung eines Holzbau-Systemes nicht außer Acht zu lassen, daß jede Zimmerung selbst bei bester Ausführung sich unter dem Gebirgsdrucke setzt, indem die einzelnen Hölzer zusammengedückt, bei größerem Druck verbogen und sogar ineinander gedrückt werden (sich „einfressen“). Dadurch entsteht naturgemäß eine Profilverengung, namentlich ein Niedergehen der Firste, die um so größer wird, je größer der vorhandene Gebirgsdruck, und je länger derselbe auf die Zimmerung wirkt. Das Niedergehen der Firste ist, gute Konstruktion und Ausführung der Zimmerung vorausgesetzt, anzunehmen: in schwimmendem Gebirge zu 0,6 m, in mildem Gebirge zu 0,3 m, in gebrächem zu 0,1 m; das Eingehen des Profils in Höhe des Widerlagers kann in den drei erstgenannten Gebirgsarten auf  $\frac{1}{3}$  der bezüglichen Mafse für das Setzen der Firste angenommen werden; in festem Gestein tritt kein Setzen ein. Um daher nach erfolgtem Setzen der Zimmerung noch genügenden Raum für die Ausführung der Mauerung zu behalten, ist das Profil gleich von vornherein um die angegebenen Mafse höher bzw. weiter abzubauen. Nur bei Anwendung der Rziha'schen Eisenrüstung kann hiervon abgesehen werden, da bei dieser ein derartiges Setzen nicht eintreten kann.

Reicht in einzelnen Fällen bei starkem Gebirgsdruck die angenommene Überhöhung nicht aus, sodafs das Gebirge infolge stärkeren Setzens der Zimmerung in das Profil der Mauerung hineintritt, dann ist, um die letztere ausführen zu können, ein Nachnehmen der First, ein sogenanntes „Auffirsten“, erforderlich, worüber im § 89 unter 9. das Nötige gesagt worden ist.

**§ 96. Anordnung des Tunnel-Richtstollens.** In § 68 sind bereits als Zwecke des Richtstollens: die Feststellung der Richtung, der Aufschluss des Gebirges, die Wasserführung, die Förderung und die nach Bedarf vorzunehmende Vermehrung der Angriffspunkte aufgeführt; es wurde dabei hervorgehoben, daß der Richtstollen sowohl in der Firste oder (allgemeiner) in der oberen Profilhälfte, als auch in der Sohle des Tunnels angeordnet werden kann. Es erübrigt noch die Vorteile und die Nachteile beider Anordnungen zu besprechen.

Die Bestimmung der Tunnelrichtung und der Aufschluss des Gebirges sind in gleicher Weise mit dem Firststollen wie mit dem Sohlenstollen zu erreichen. Wenn demnach der Richtstollen nichts anderes bezweckt, so empfiehlt es sich, ihn in die Tunnelfirste zu verlegen; da, wie wir gesehen haben, der Abbau des Tunnelprofils (bezw. der oberen Profilhälfte) bei allen Bauweisen mit einem Einbruchstollen in der Firste beginnt, dieser daher nur vorauszuweichen braucht, um als Richtstollen dienen zu können und damit die Anlage eines besonderen Richtstollens entbehrlich zu machen.

Jedoch nur in wenigen Fällen sind die Zwecke des letzteren auf die angeführten beschränkt, vielmehr erstrecken sie sich bei den meisten Tunnelbauten zugleich in hervorragendem Maße auf die Entwässerung und die Förderung. Was die erstere betrifft, so ist es einleuchtend, daß die Stollenlage in der Firste derjenigen in der Sohle erheblich nachsteht. Das im Firststollen sich sammelnde Wasser muß, um in den endgiltigen Abzugsgraben zu gelangen, die tiefer liegende Arbeitsstelle durchlaufen. Anstatt also das Gebirge für die Hauptabbauarbeiten möglichst zu entwässern, werden diese durch Zuführung des Wassers aus dem Firststollen sogar noch erschwert, indem mit dem Vorschreiten der Arbeiten eine fortwährende Verlegung der Wasserrösche notwendig ist, um das herabfließende Wasser an den Arbeitsstellen vorbei zu leiten. Bei dem vorausweichenden Sohlenstollen dagegen bleibt die erste Wasserrösche bis zur Vollendung der ganzen Ausbrucharbeit unverändert bestehen, kann also von vornherein sorgfältiger hergestellt werden und entwässert im voraus das Gebirge für die nachfolgenden Arbeiten.

Ebenso ist der Firststollen auch bezüglich der Förderung gegenüber dem Sohlenstollen im Nachteil. Die Überführung aus dem Firststollen auf die Sohle des Vollausbruches macht die Anlage einer Rampe notwendig, die ähnlich wie die Wasserrösche eines häufigen Umbaus bedarf. Eine Ausnahme hiervon machen nur solche kürzere Tunnel, deren Bauzeit es gestattet, nach belgischer Bauweise erst die obere Profilhälfte mit dem Gewölbe in der ganzen Länge des Tunnels fertig herzustellen und dann die unterste Profilhälfte ganz vor Kopf abzubauen (vergl. S. 180). Im Sohlenstollen bleibt hingegen auch die Förderbahn bis zur Vollendung des Baues in ihrer Lage, kann demnach sorgfältiger hergestellt und unterhalten werden und bietet außerdem noch für den Betrieb der Förderung gegenüber den erwähnten Rampenanlagen den Vorzug, daß die Berge aus der oberen Profilhälfte durch die Anlage von „Rolllöchern“ direkt in die auf der unteren Bausohle befindlichen Wagen abgestürzt werden können.

Den angeführten Vorzügen des Sohlenstollens stehen als Nachteil die Mehrkosten gegenüber, die bei seiner Anlage dadurch erwachsen, daß neben dem in der Sohle voreilenden Richtstollen noch eine zweite Stollenarbeit — für den Abbau der oberen Profilhälfte (Einbruchstollen in der Firste) — unvermeidlich ist; während beim Firststollenbetrieb eine zweite Stollenarbeit nicht stattfindet. Diese Mehrkosten werden indessen dadurch verringert, daß der Sohlenstollen die Gewinnung in der unteren Profilhälfte durch Verminderung der Gebirgsspannung wesentlich erleichtert, und sind deshalb meistens in der Praxis

thatsächlich unerheblicher als sie zu sein scheinen. In den meisten Fällen werden sie durch die oben erwähnten anderweiten Vorzüge des Sohlenstollens bei weitem aufgewogen.

Wenn endlich durch die Anlage des Richtstollens neben den bisher vorausgesetzten Zwecken auch noch die Beschleunigung des Baues durch Vermehrung der Angriffspunkte erreicht werden soll, was namentlich bei langen Tunneln der Fall ist, dann ist die Stollenführung in der Tunnelsohle unbedingt geboten, denn nur diese ermöglicht die Beschaffung einer beliebigen Zahl von Arbeitsstellen durch die Anlage von Aufbrüchen. Will man umgekehrt bei Firststollenbetrieb „Niederbrüche“ (auch „Absenken“ genannt) zu gleichem Zweck anlegen, so erwachsen dadurch der Entwässerung wie der Förderung neue bedeutende Schwierigkeiten; ein solches Vorgehen findet deshalb nur in Nottfällen statt, und es bleibt beim Firststollenbetrieb zur Beschleunigung des Baues kein anderes Mittel, als den Vollausbruch unmittelbar und in gleichem Schritte dem Vorschreiten des Richtstollens folgen zu lassen. Es ist dies jedoch bei langen Tunneln sehr schwierig und jedenfalls nur mit Erhöhung der Kosten zu erreichen.

Wenn sonach bei langen möglichst zu beschleunigenden Tunnelbauten die Anlage des Richtstollens auf der Sohle geradezu geboten erscheint, so ist sie nach dem bisher Gesagten auch sonst im allgemeinen zu empfehlen; wie denn auch diese Anordnung namentlich in neuerer Zeit die verbreitetste ist.

Nur bei der belgischen Bauweise war bisher, bis auf wenige Ausnahmen, die Anwendung eines Richtstollens in der oberen Profilhälfte allgemein im Gebrauch. Es erklärt sich dies aus dem der belgischen Bauweise eigentümlichen Bauvorgange in zwei Stufen, wodurch naturgemäß eine obere und eine untere Bausohle geschaffen werden, und wobei auf der oberen die Hauptarbeiten vorzunehmen sind. Häufig ist indessen die Gewinnung einer größeren Zahl von Angriffspunkten von solcher Wichtigkeit, daß sich auch bei der belgischen Bauweise der Vortrieb eines Sohlenstollens durchaus empfiehlt, um die Vollausbruchsarbeiten mit Hilfe von Aufbrüchen rechtzeitig fertigstellen zu können, ohne dafür teure Beschleunigungsmittel (Maschinenbohrung u. s. w.) wie bei dem Richtstollen, anwenden zu müssen. Dieser Fall tritt namentlich ein bei langen Tunneln mit thunlichst abzukürzender Bauzeit und um so mehr, wenn zugleich in dem zu durchfahrenden Gebirge wasserreiche und wenig feste Strecken zu erwarten sind.

Als Nachteil des Sohlenstollenbetriebs muß die schwierigere Lüftung der Aufbrüche angeführt werden. Dieser Nachteil kann jedoch dadurch vermieden oder doch wesentlich verringert werden, daß man von den Aufbrüchen aus auch den Einbruchstollen in der Tunnelfirste voreilen läßt und beiderseits von einem Aufbruch zum anderen zum raschen Durchschlage bringt, bis dahin aber ihre Verbindung mit dem Sohlenstollen durch Rolllöcher herstellt.

In neuerer Zeit hat der Sohlenstollenbetrieb auch bei der belgischen Bauweise mehr Anhänger unter den Tunnelbau-Ingenieuren gefunden; wir verweisen auf § 72.

## IV. Tunnelbrüche.

### A. Die Tunnelbrüche und ihre Ursachen.

**§ 97. Die verschiedenen Arten der Tunnelbrüche.** Bei den Tunnelbauten kommen leider nicht selten Einstürze, sogenannte „Brüche“, in den in Ausführung begriffenen Strecken in geringer oder größerer Ausdehnung vor, die je nach ihrer Lage und Gestaltung als Sohlenbruch, Ortbruch, Ulmenbruch, Firstbruch, Tagebruch oder Mundlochbruch bezeichnet werden.

Ein Sohlenbruch entsteht entweder durch Auftreiben oder durch Einsturz der Tunnelsohle. Der erstere Fall tritt selten und nur als Folge des Zusammengehens der Ulmen (Widerlager) in schwimmendem oder sehr mildem Gebirge ein; ein Sohlen-einsturz kommt ebenfalls nur sehr vereinzelt und zwar in höhlenreichem Gebirge vor.

Der Ortbruch und der Ulmenbruch, d. h. Einbrüche in der Brust oder in den Ulmen eines Stollens oder Tunnels kommen allerdings häufiger vor; sie sind aber stets nur unbedeutend, da in den Fällen, wo ihre Ausdehnung über das Ausbruchsprofil hinausgeht, also ein Teil der Firste mit zu Bruche geht, ein solcher Bruch als Firstenbruch bezeichnet wird. Die Firstenbrüche sind die häufigsten. Sie nehmen nicht selten sehr große Ausdehnung an. Wenn dabei das ganze überlagernde Gebirge bis zu Tage zum Einbruch kommt, dann nennt man einen solchen Bruch einen Tagebruch.

Der Mundlochbruch kennzeichnet sich durch den Einsturz der Kopfböschung des Tunnelvoreinschnittes.

Auch in fertig hergestellten, mit der Ausmauerung versehenen Tunnelstrecken oder auch in ganz vollendeten Tunneln können Zerstörungen, wenn auch nur selten volle Einstürze, eintreten. In den meisten Fällen bestehen diese Zerstörungen der fertigen Mauerung in größeren oder kleineren Einbauchungen und Verdrückungen derselben, die allerdings nicht selten solchen Umfang annehmen, daß eine mehr oder minder große Erneuerung der Mauerung notwendig wird, entweder weil das verengte Profil für die Benutzung des Tunnels nicht mehr genügt oder auch, weil die Mauerung nicht mehr die erforderliche Tragfähigkeit besitzt. Ein teilweiser oder vollständiger Einsturz der Mauerung kommt unter gewöhnlichen Verhältnissen nur äußerst selten vor; in Kriegszeiten dagegen wird die Zerstörung durch Sprengungen oft absichtlich herbeigeführt.

**§ 98. Ursachen der Tunnelbrüche.** Die Ursachen, auf die Tunnelbrüche zurückgeführt werden können, sind im einzelnen der Natur der Sache nach bei den vielfach veränderten Bauverhältnissen sehr verschiedener Art, dennoch lassen sich alle diese Ursachen kurz dahin zusammenfassen: großer, meist plötzlich auftretender oder doch rasch anwachsender Gebirgsdruck, dem gegenüber der vorhandene Ausbau nicht genügenden Widerstand zu bieten imstande war.

Da nun die Möglichkeit nicht in Abrede zu stellen ist, daß man unter allen Umständen allen vorkommenden Druckverhältnissen durch geeignete Abstützungen in ausreichender Weise entgegentreten kann, so könnte daraus gefolgert werden, daß in allen Fällen, in denen Tunnelbrüche eintreten, die betreffenden Baubeamten ein Vorwurf wegen mangelnder Sachkenntnis oder Achtsamkeit treffen müßte. Das ist aber keineswegs allgemein berechtigt.

Bei langsam wachsendem Druck ist es allerdings wohl fast immer möglich, wenn man rechtzeitig damit vorgeht, den Ausbau derartig zu verstärken, daß ein Bruch verhütet wird. Es kommen aber Fälle vor, bei denen durch Ursachen, deren Vorhandensein sich dem Blicke des Ingenieurs entzieht, Gebirgsablösungen von großer Ausdehnung ganz plötzlich entstehen; diese üben alsdann einen so heftigen Stoß auf den Ausbau aus, daß er zusammenbrechen muß, wenn er nicht von ganz außergewöhnlicher Festigkeit ist. Den Ausbau aber überall und unter allen Umständen für ganz ausnahmsweise Vorkommnisse stark genug durchzuführen, würde der hohen Kosten und des langsamen Vortriebes wegen kaum durchführbar sein und eine Verschwendung an

Zeit und Geld bedingen. Fälle der vorhin bezeichneten Art sind aber recht selten und es kann wohl behauptet werden, daß in der Regel, abgesehen von vereinzelt vorkommenden, ganz außerordentlichen Verhältnissen, die Tunnelbrüche durch Sachkenntnis, Achtsamkeit und Umsicht vermieden werden können.

Der Druck, der auf den Ausbau eines Tunnels wirkt, besteht von vornherein naturgemäß lediglich in dem Gewichte derjenigen Gebirgsmassen, die bis zur Herstellung des hohlen Raumes von den ausgeschachteten Gebirgsmassen getragen wurden. Die Ausdehnung jener, den Ausbau belastenden Gebirgsmassen ist abhängig von der Größe des inneren Zusammenhanges des Gebirges und von der Ausdehnung des aufgeschlossenen freien Raumes. Mit der Zunahme des inneren Zusammenhanges des Gebirges vermindert sich der Druck, während er bei zunehmender Größe des freien Raumes sich vermehrt.

Die im ersten Augenblicke des Entstehens eines freien unterirdischen Raumes vorhandenen Druckverhältnisse bleiben aber nicht dauernd dieselben. Durch verschiedene Einflüsse muß mit der Zeit der Gebirgsdruck größer werden und zwar, indem die belastende Gebirgsmasse sich vermehrt, entweder durch allmähliches Nachsinken des bis dahin nicht auf den Ausbau drückenden Gebirges, wie bei mildem, rolligen und schwimmenden Gebirge oder durch Nachsturz kleinerer oder größerer Gebirgsteile bei den festeren Gebirgsarten.

Dieses Nachsinken oder gar Nachstürzen von Gebirgsmassen ist bei eintretenden Brüchen die unmittelbare Veranlassung dazu. Es wird begünstigt einmal durch gewisse Verhältnisse, die das zu durchfahrende Gebirge an sich aufweist, ferner durch gewisse Umstände, die durch den Bauvorgang und die Art und Weise des Ab- und Ausbaues des Tunnelquerschnittes herbeigeführt werden.

In ersterer Beziehung sind hervorzuheben: Wagerechte Gesteinschichtung; Verwerfungen, bei denen die Gesteinschichten glockenförmig aufgetrieben sind; Einlagerung fremder Gesteine, namentlich großer Felsblöcke in rolligem und milden Gebirge; Klüfte und Stiche, welche die Gesteinschichten quer durchsetzen. Ferner das Auftreten von Wasser, das als Sickerwasser im milden und rolligen Gebirge durch Aufweichen deren inneren Zusammenhang verringert, die weicheren Bindeglieder zwischen festen Gesteinen aufweicht und dadurch das Abrutschen dieser erleichtert, auch als reichlicheres Quellwasser ein Auswaschen weicher oder rolliger Gebirgsschichten bewirkt und dadurch ein Auflockern der darüber liegenden Gebirgsmassen, Bildung von Hohlräumen und infolge dessen einseitigen Druck auf die Zimmerung veranlaßt.

Was die Umstände betrifft, die durch den Vorgang beim Abbau des Gebirges Tunnelbrüche veranlassen oder begünstigen, so ist vor allem eine größere Ausdehnung der in Angriff genommenen Baustrecke nicht nur wegen der dadurch verursachten größeren Unterhöhlung des vorübergehend gestützten Gebirges, sondern auch wegen der dadurch bedingten längeren Zeitdauer der zeitweiligen Stützung dem Nachsinken und Nachstürzen der Gebirgsmassen günstig. Wir haben oben gesehen, daß der Gebirgsdruck von vornherein mit der Ausdehnung des aufgeschlossenen Raumes wächst. Da nun bei größerer Aufschließung bis zur Herstellung der Mauerung längere Zeit erforderlich ist, während welcher der Gebirgsdruck durch Nachsinken und Nachstürzen sich vermehrt, so kann er leicht eine gefährliche Höhe erreichen.

Thatsächlich sind denn auch bei unverhältnismäßigem Voreilen der bergmännischen Arbeiten vor den Mauerarbeiten sehr häufig Brüche entstanden, die sehr wohl hätten vermieden werden können, wenn für raschen endgiltigen Ausbau oder

für langsames Vorgehen mit den bergmännischen Arbeiten Sorge getragen wäre. Der Beweis für die Richtigkeit dieser Behauptung liegt eben darin, daß in diesen Fällen die Zimmerung thatsächlich längere Zeit dem Drucke Widerstand geleistet hat; hätte man also während dieser Zeit die Mauerung fertig eingebaut, dann würde ein Bruch nicht eingetreten sein.

Es kann daher vor einem solchen Voreilen der bergmännischen Arbeiten nicht dringend genug gewarnt und namentlich auch bei minder drückendem Gebirge besondere Achtsamkeit hierauf empfohlen werden, da bei diesem die Zimmerung eine leichtere ist, die einem Stofse von sich ablösenden Gesteinmassen nur wenig Widerstand entgegenzusetzen vermag. Wird aber die Zimmerung an irgend einer Stelle durch derartige Ablösungen zerstört, so kann sich daraus leicht ein Bruch von großer Ausdehnung entwickeln. Auch mag hier nochmals darauf hingewiesen werden, daß ein wesentlicher Vorteil der belgischen Bauweise gerade in dem Umstande begründet ist, daß bei dieser die Herstellung des wichtigsten Theiles der Ausmauerung, des Gewölbes, einen verhältnismäßig kleinen Gebirgsaufschluß erforderlich macht, der nicht nur einen geringen Druck hervorruft und eine einfache, starke Zimmerung gestattet, sondern auch eine rasche Herstellung des Gewölbes ermöglicht.

Auch noch in anderer Weise wird durch den Bauvorgang das Niedergehen größerer Gebirgstheile begünstigt. Es geschieht dies bei Herstellung von Schächten in der Axe des Tunnels und durch vorzeitige Fertigstellung der Voreinschnitte mit den Kopfböschungen. In beiden Fällen werden Gebirgsschichten abgeschnitten, die bei ihrer Unterfahrung zur Herstellung des Tunnelraumes vollends ihren Halt verlieren und die Tunnelzimmerung belasten. Es ist alsdann beim Ab- und Ausbau des Tunnels größte Vorsicht anzuwenden und von vornherein für genügend starke Zimmerung Sorge zu tragen, namentlich ist dies beim Unterfahren der Kopfböschung am Tunnelmundloche notwendig, weil hier der innere Zusammenhang der Gebirgsschichten nach einer Seite vollständig aufgehoben ist und auch der Halt, den die Schachtzimmerung den durchschnittenen Schichten immerhin noch bietet, fehlt. In ganz besonderem Maße tritt diese Gefahr bei dem Mundloche solcher Tunnel ein, die an Berglehnen liegen und bei denen die eine Böschung des Voreinschnittes ungleich höher ist, als die andere. Um der Gefahr, die das Unterfahren der fertigen Kopfböschung des Voreinschnittes mit sich bringt, zu entgehen, empfiehlt es sich, die Einschnittsmassen am Tunnelmundloche erst dann fortzunehmen, wenn die Tunnelmauerung von innen her bergmännisch bis über den demnächstigen Fuß der Kopfböschung hinaus fertiggestellt ist. Nur auf diese Weise kann mit einiger Sicherheit den Mundlochbrüchen vorgebeugt werden.

Der Ausbau, d. h. zunächst der vorläufige Ausbau, die Zimmerung, kann der Druckvermehrung und dem schließlichen Einsturz durch folgende Mängel Vorschub leisten:

1. Durch ungenügende Festigkeit, indem die Zimmerung infolge zu schwacher Holzstärken, zu weiter Entfernung der einzelnen Unterstützungen oder nicht ausreichenden Quer- und Längsverbandes Zerdrückungen und Verschiebungen erleidet, wodurch Senkungen und Nachstürze im Gebirge hervorgerufen werden;
2. durch mangelhafte Ausführung der Zimmerung: Zu spätes Einbauen wichtiger Konstruktionsteile; ungenügendes Versetzen der Zimmerung, d. h. ungenügendes Ausfüllen oder vielmehr Verpacken der zwischen der Zimmerung und dem Gebirge entstehenden Hohlräume mit Steinen, namentlich

bei festerem Gebirge, in dem naturgemäfs unregelmäßige Ausbruchflächen entstehen, an die sich die Zimmerung nicht überall eng anschließen kann; Vernachlässigung in der Unterhaltung der Zimmerung, wobei leicht durch einseitigen Druck, durch Schiefsen u. s. w. einzelne Teile lose werden und sich verschieben, sodafs die Zimmerung in ihrer Tragfähigkeit geschädigt, einer plötzlich eintretenden Druckvermehrung nicht widerstehen kann;

3. durch unvorsichtiges Auswechseln der Zimmerungshölzer während der Mauerung.

Das beim allmählichen Fortschreiten der Mauerung notwendig werdende Herausnehmen einzelner Hölzer und deren Ersatz durch vorläufigen Einbau oder sogenannten Auswechselbolzen erfordert viel Sachkenntnis und Erfahrung und darf nur tüchtigen und zuverlässigen Bergleuten anvertraut werden. Es ist streng darauf zu halten, dafs seitens der Maurer niemals auch nur das geringste Holz ausgewechselt wird, wozu diese leicht verleitet werden, weil die Hölzer sie in der Mauerung behindern. Die meisten Brüche, namentlich die schweren Firstenbrüche, entstehen infolge ungeschickter Herausnahme von Zimmerungshölzern bei der Mauerung.

Verdrückungen und Brüche des endgiltigen Ausbaues, der Mauerung, werden veranlaßt: durch unrichtige Konstruktion der Mauerung, wenn diese in der Form oder in den Stärkeabmessungen den eingetretenen Druckverhältnissen nicht entspricht; durch mangelhafte Ausführung: Verwendung schlechter Materialien, schlechten Mörtels, verwitterbarer, zerdrückbarer oder unlagerhafter Steine, Mauern mit zu starken und nicht nach dem Halbmesser der Gewölbekrümmung hergestellten Fugen, Hohlmauern u. s. w.; durch Verwendung zu schwacher Lehrbögen, die sich unter dem Drucke des Gewölbes und des Gebirges verbiegen; durch mangelhaftes Verpacken der Hohlräume hinter dem Gewölbe; durch Einmauern von Hölzern, namentlich von Langhölzern, Wandruten, Kronbalken, wenn diese in das Gewölbeprofil hineinreichen u. s. w.

## B. Wiederherstellung der durch Tunnelbrüche zerstörten Tunnelstrecken.

**§ 99. Vorbereitende Arbeiten.** Die Wiederherstellungsarbeiten bei kleineren Brüchen, zu denen namentlich die Ort- und Ulmenbrüche gehören, sind einfacher Art und beschränken sich auf das Beseitigen der Bruchmasse, auf eine in der Regel leicht anzubringende Abstützung des Bruchraumes und auf das Versetzen desselben durch Berge, Hölzer und Faschinen. Mit der gröfseren Ausdehnung der Brüche wachsen die Schwierigkeiten und die Gefahren bei den Wiederherstellungsarbeiten ungemein und es gehört die Bewältigung eines gröfseren Tunnelbruches zu den schwierigsten Aufgaben, die an einen Ingenieur herantreten können.

Dabei kommt es zunächst darauf an, zu verhindern, dafs der Bruch weitere Ausdehnung annimmt. Zu diesem Zwecke sind sofort die Zimmerungen an den dem Bruche zunächst liegenden Baustrecken derartig zu verstärken, dafs sie mit Sicherheit standhalten. Reicht der Bruch, wie dies nicht selten vorkommt, bis an das fertige Gewölbe heran, so ist dieses durch den Einbau mehrerer kräftig unterstützten Lehrbögen gegen Verdrückung und Einsturz zu sichern.

Es ist sodann zunächst die Ausdehnung und sonstige Beschaffenheit des Bruches, d. h. des Schuttkegels, des über demselben entstandenen Hohlraumes, des „Bruchdomes“ oder „Bruchraumes“ zu untersuchen und möglichst genau festzustellen, um nach dem Befunde über die weiter zu treffenden Mafsnahmen Beschlufs fassen zu können. Dabei mufs wegen der nachstürzenden und der lose hängenden Massen mit grofser Vorsicht

vorgegangen werden, und es empfiehlt sich namentlich, vor dem Betreten des Bruchraumes einige leichte Dynamitpatronen in demselben zur Explosion zu bringen, um durch die damit hervorzurufende Lufterschütterung das Abfallen dieser losen Massen zu bewirken. Zur Beleuchtung der Bruchstelle benutzt man an langen Stangen befestigte Fackeln, besser Magnesiumlampen.

Ist der Bruch so bedeutend, daß das ganze Tunnelprofil verschüttet und der Zugang in den Bruchraum durch die Schuttmassen versperrt ist, so muß zunächst festgestellt werden, ob die erfolgten Ablösungen bis zu Tage reichen, ob also ein Tagebruch vorliegt, der sich durch Einsenkungen des Bodens oder durch förmliche Sturztrichter auf der Oberfläche über dem Tunnel bemerklich macht. Liegt ein Tagebruch nicht vor, dann wird man in der Regel durch einen am Ende des Bruches unter dem stehengebliebenen Gebirge in schräger Lage nach oben zu treibenden Stollen mit kleinem Profil rasch in den Bruchraum gelangen können, da dessen Wände selten senkrecht abfallen und daher die Schuttmassen meistens unter den geneigten Wänden nicht sehr geschlossen lagern, vielmehr gröfsere Zwischenräume bilden, die sich leicht durch Beseitigen einzelner Gebirgsstücke zu einem kleinen Stollen erweitern lassen.

In der Regel wird es zweckmäfsig sein, abgesehen von den eigentlichen Bruchbewältigungsarbeiten, durch die Schuttmasse auf der Bausohle einen Stollen durchzutreiben, der die Verbindung der hinter der Bruchstelle liegenden Baustrecke mit den übrigen Arbeitsstellen wieder herstellt, ferner auch Gelegenheit bietet, die Erneuerung der durch Bruch zerstörten Strecke von beiden Seiten zu betreiben. Der Durchbruch der Sturzmassen mittels eines Stollens bietet häufig wegen der darin durcheinander liegenden Hölzer und Eisenteile, unter denen namentlich eiserne Lehrbögen sehr hinderlich sind, grofse Schwierigkeit. In den meisten Fällen wird es sich empfehlen, den Stollen an den Ulmen, nicht in der Mitte des Tunnels herzustellen, weil man dann auf der einen Seite das feste Gebirge oder die bereits fertige Mauerung als Stollenwand benutzen kann. Unter Umständen zieht man es auch vor, um der schwierigen Durchbrechung des Trümmerhaufens zu entgehen, den Verbindungsstollen zwischen dem vorderen und hinteren Bruchende aufserhalb des Tunnelprofils in dem unverletzten Gebirge parallel zur Tunnelaxe herzustellen, um rascher zum Ziele zu gelangen. In dieser Weise verfuhr man bei einem Bruche im Tunnel bei Altenbeken. Vergl. Zeitschr. f. Bauw. 1868, S. 251.

Sind durch einen Bruch Arbeiter vom Tunnelausgang abgesperrt, handelt es sich also um Rettung von Menschenleben, dann wird man natürlich nicht die Herstellung eines für den weiteren Bau zweckmäfsigen Stollens durch die Schuttmassen abwarten, vielmehr mit allen Mitteln, so rasch als irgend möglich eine Verbindung mit der abgeschnittenen Tunnelstrecke herzustellen suchen; für diesen Zweck wird man die Schuttmassen mit einem kleinen Stollen in der Tunnelfirste durchfahren, weil hier der Stollen weniger Länge erhält und die Schuttmassen nicht mit den Trümmern der Zimmerung durchsetzt sind.

Nach diesen vorbereitenden Arbeiten kann man mit den eigentlichen Bruchbewältigungsarbeiten vorgehen. Sie sollen nachfolgend nach den verschiedenen Brucharten getrennt besprochen werden, wobei von den unbedeutenden Arbeiten bei den Ort- und Ulmenbrüchen, sowie bei den Sohleneinstürzen abgesehen werden kann.

Bei den Firstbrüchen ist der Vorgang in den betreffenden Arbeiten verschiedenartig, je nachdem die Bruchmassen den Querschnitt des Tunnels ganz bis über die Firsthöhe hinaus oder nur einen Teil davon ausfüllen. Das erstere findet naturgemäfs auch bei allen Tagebrüchen statt, deren Bewältigung in gleicher Weise wie bei den

erstgenannten Firstbrüchen zu erfolgen hat. Demnach wird die Erörterung der Bruchbewältigungsarbeiten auf folgende Fälle sich erstrecken:

1. Tagebrüche und Firstbrüche, bei denen die Bruchmassen den Tunnelquerschnitt bis über die Firsthöhe hinaus ausfüllen;
2. Firstbrüche, bei denen die Bruchmassen nur einen Teil des Tunnelquerschnittes einnehmen;
3. Mundlochbrüche;
4. Brüche der Mauerung.

**§ 100. Wiederherstellungsarbeiten bei Firstbrüchen und Tagebrüchen, durch die der Tunnelquerschnitt bis über die Firsthöhe hinaus verschüttet ist.**

Nachdem bei derartigen Tunnelbrüchen die Bruchenden gesichert sind und die Herstellung eines Stollens durch die Schuttmasse oder außerhalb des Tunnelprofils in der Höhe der Bausohle in Angriff genommen ist, beginnen die eigentlichen Bruchbewältigungsarbeiten mit dem Abbau des Böschungskörpers der in den unverletzten Bau hineinreichenden Sturzmassen behufs Aufstellung einer festen Wand, einer sogenannten „Bockwand“, um von dieser aus mit dem Ab- und Ausbau der Schuttmasse selbst vorgehen zu können. Die Art und Weise dieses Böschungsabbaues ist abhängig von der Wahl des Bauvorganges für den Abbau der ganzen Schuttmasse. Für letzteren kommen alle in der 1. Abteilung des zweiten Abschnittes dieses Kapitels erörterten Bauarten in Betracht; auch die sonst übel berufene deutsche Art ist hier nicht auszuschließen, sie ist sogar in manchen Fällen für die Bruchbewältigungsarbeiten besonders zweckmäÙig.

Die letzteren bieten immer große Schwierigkeiten und Gefahren wegen der unregelmäßig und lose durcheinander liegenden Trümmer, weil Nachstürze und Brüche in der Schuttmasse hervorgerufen werden können, wenn jene einzeln beseitigt werden. Da es nun bei den Bruchbewältigungsarbeiten in erster Linie auf die Sicherheit der Arbeiter und der Arbeit ankommt und diese im allgemeinen bei kleineren Aufschlußquerschnitten größer ist, als bei Aufschlüssen im ganzen Profil, so erscheint die deutsche Bauart in den Fällen wohl geeignet, wo das Bruchmaterial aus festerem Gebirge besteht, das einen „Kern“ oder „Sattel“ von genügender Tragfähigkeit bilden kann, um die Zimmerung mit Sicherheit tragen zu können. Aus gleichem Grunde kann auch die Anwendung der belgischen Bauweise für diese Arbeiten sich empfehlen und sie verdient vor der deutschen den Vorzug, wenn das Bruchmaterial eine genügend sichere Auflagerung des Gewölbemauerwerks gewährt.

Wird nun die deutsche oder die belgische Bauweise für die Durchfahrung der Bruchmasse gewählt, dann baut man die Böschung der letzteren in zwei Stufen von annähernd gleicher Höhe ab. Die erste Stufe wird durch eine den ganzen Tunnelquerschnitt durchgreifende Bockwand *b* (Fig. 4, Taf. X) abgestützt, die zweite Stufe durch eine Bockwand *d*. Erstere dient bei der deutschen Bauweise als Ausgangspunkt für die Widerlagsstollen, letztere bei der deutschen und belgischen Bauweise als Ausgangspunkt für den Abbau der oberen Profilhälfte. Der weitere Verlauf dieser Arbeiten entspricht vollständig den in den §§ 70 bis 72 beschriebenen Bauvorgängen.

Beabsichtigt man für die Bruchbewältigung die englische oder österreichische Bauweise zur Anwendung zu bringen, dann baut man die ganze Böschung der Sturzmasse in voller Höhe des Tunnelprofils ab und stellt zur Abstützung der Bruchmasse

eine Bockwand *k* (Fig. 9 u. 10) auf, die als Ausgangs- und Stützpunkt für den Abbau des vollen Profils nach einer der bezeichneten Bauarten in der bekannten Weise dient.

In allen Fällen muß bei den Bruchbewältigungsarbeiten erhöhte Vorsicht angewendet und sie dürfen namentlich in nicht zu großer Länge vorgenommen werden. Ferner ist besonderer Wert auf eine sorgfältige Hinterpackung des Mauerwerks und auf einen festen Anschluß desselben an die Zimmerung und Verpfählung, die man in den meisten Fällen sitzen läßt, zu legen.

Bei Firstbrüchen der in Rede stehenden Art ist es auch notwendig, den entstandenen Hohlraum im Gebirge möglichst gut auszufüllen, um schwere Nachstürze, die dem Tunnelausbau gefährlich werden könnten, zu vermeiden. Zu diesem Zwecke wird die Bruchhöhle mit Hilfe von kleineren Schächten oder Stollen zugänglich gemacht, auch stellt man an Stelle der nur mit großer Gefahr auszuführenden Schächte weite Bohrlöcher her, durch die das Füllmaterial in den Hohlraum eingelassen werden kann.

Zur näheren Beleuchtung der fraglichen Bruchbewältigungsarbeiten mögen die beiden nachstehenden, der Praxis entnommenen, sehr lehrreichen Beispiele dienen.

**1. Firstenbruch im Schwelmer Tunnel<sup>87)</sup>**, vergl. Fig. 1 bis 6, Taf. X. Der Tunnel war in einer Länge von etwa 570 m mit mehr oder minder erheblichen Schwierigkeiten ohne wesentlichen Unfall vollendet, als in der noch im Bau befindlichen Strecke am 28. Juni 1878 plötzlich ein Bruch eintrat, bei dem leider neun Menschen ums Leben kamen.

Der Stand des Baues vor dem Einsturz war folgender: Es wurde in drei Zonen von je 8,0 m Länge in etwa 30 m Entfernung vom südlichen Schachte gearbeitet; in der ersten nördlichen Zone war das Gewölbe bis auf 5,0 m geschlossen, in der zweiten war das westliche Widerlager fertig, während das östliche nahezu vollendet war, und in der dritten, südlichsten Zone war der Vollausschacht auf der Westseite hergestellt, auf der Ostseite jedoch der größte Teil des Stofses noch nicht entfernt.

In der ersten Zone war im ganzen Profil fester Kalkstein angetroffen, in der zweiten fand sich im östlichen Stofse ein Nest mit mürbem Gestein, weshalb hier die Widerlager nicht wie an anderen Stellen mit Nischen (zur Ersparung von Mauerwerk), sondern voll gemauert wurden; sonst stand im ganzen Profil fester Kalkstein an.

Erst ungefähr in der Mitte der dritten Zone wurde in der Firste eine Lettenschicht angehauen, die mit dem vorerwähnten mürben Gestein in der zweiten anscheinend nicht zusammenhing. Diese Lettenschicht fiel mit 17° nach Süden hin ein; darüber lag ein mürbes, geschichtetes Gebirge. Dieselbe Gebirgsart war schon beim Auffahren des Firststollens an dieser Stelle bemerkt worden und es war mit Rücksicht auf den hierdurch zu erwartenden Druck, ferner wegen der Nähe des Portalschachtes und der darin befindlichen starken Quelle, schon bevor die Ausweitungsarbeiten in Angriff genommen wurden, Anordnung getroffen, daß hier die Gespärre in 1,5 m Entfernung aufgestellt und die stärksten Hölzer für die Zimmerung verwendet werden sollten, während an anderen, weiter nördlich gelegenen Stellen des Tunnels die Entfernung der Gespärre 2,5 m betragen durfte und weit geringere Holzstärken genügten.

Der Bau in genannter Strecke war ganz regelrecht vor sich gegangen, bis man in der Woche vor dem Einsturze in der zweiten Zone eine geringe Verschiebung der Hauptschwellen nach Süden hin bemerkte, der sofort durch Stellung von Schubstreben erfolgreich entgegengearbeitet wurde.

Am Tage vor dem Einsturze machte sich aufs neue eine Bewegung in der zweiten Zone durch Lockerung einiger Sprengbolzen bemerkbar; infolge dessen wurden sofort weitere Schubstreben in allen drei Zonen gestellt, obwohl sich in der ersten und dritten Zone keinerlei Verschiebung zeigte. Die Ausweichung der Hauptschwellen in der zweiten Zone betrug im höchsten Falle 10 cm, eine beim Tunnelbau durchaus nicht ungewöhnliche Erscheinung, die nicht danach angethan war, den so nahe bevorstehenden Einsturz befürchten zu lassen. Dieser erfolgte so plötzlich, daß fünf Maurer und ein Handlanger, die in der zweiten Zone in Kämpferhöhe beschäftigt waren, ferner zwei Maurer aus der ersten und ein Bergmann aus der dritten Zone verschüttet wurden; acht Maurern aus der ersten und neun Bergleuten aus der dritten Zone gelang es, sich durch schleunige Flucht zu retten, wobei jedoch fünf Mann leicht verwundet wurden.

<sup>87)</sup> Der Vorgang beim Bau dieses Tunnels ist in § 75, S. 198 näher beschrieben.

Unmittelbar nach dem Einsturze bot die Bruchstelle einen entsetzlichen Anblick dar, es war ein wüstes Gewirr von starken, geknickten und zerbrochenen Hölzern, verbogenen eisernen Lehrbögen, großen Felsblöcken und Trümmern, welche die weite Tunnelöffnung so vollständig ausfüllten, daß es unmöglich war, die Bruchstelle zu passieren. Nur an einzelnen Stellen konnte man von beiden Seiten her in Löchern, welche durch Verspreizung der Hölzer gebildet waren, etwa 6 bis 8 m weit in den Trümmerhaufen hineinkriechen. Es wurde dies auch sofort ausgeführt, um zu hören, ob von den neun Verschütteten noch ein Lebenszeichen wahrzunehmen sei, doch vergebens, man gewann bald die Überzeugung, daß alle einen sehr raschen Tod gefunden haben mußten.

Eine nähere Untersuchung der Bruchmassen ergab, daß die drei im Bau begriffenen Zonen vollständig zusammengebrochen waren, während die nördlich daran grenzende, bereits gewölbte Zone ganz unversehrt war.

Bei den weiteren Arbeiten stellte es sich heraus, daß die vier Hauptschwellen der ersten Zone nach Norden hin umgeworfen waren und zwar lagen die östlichen Enden nördlicher als die westlichen; von den vier Hauptschwellen der zweiten Zone lagen zwei nach Norden und zwei nach Süden, alleamt aber am westlichen Stofse des Tunnels, ebenso fand man die zwei nach Süden zu umgeworfenen Hauptschwellen der dritten Zone, während die beiden anderen Schwellen derselben Zone liegen geblieben, aber auch nach Westen verschoben waren; die Gespärre darüber waren gebrochen.

Die Leichen der verunglückten fünf Maurer wurden in der zweiten Zone gefunden, genau dort, wo die Leute zuletzt gearbeitet hatten, einer noch mit dem Hammer in der Hand.

Über dem Trümmerhaufen hatte sich eine große Höhle gebildet, deren Begrenzung aus den Fig. 1 u. 2, Taf. X ersichtlich ist.

Sowohl die östliche, wie die westliche Begrenzung des Bruches zeigte glatte, nach oben geneigte Wände, die nur von Klüften oder sogenannten Stichen herrühren konnten; das Gleiche schien mit der südlichen, ziemlich senkrechten Begrenzung der Fall zu sein. Die nördliche Begrenzung zeigte mehrere Meter hoch abgebrochene Schichten des festen Kalksteines. Nach Osten reichte die Höhle um etwa 5,0 m über den Vollaussbruch hinaus in den Stoß hinein; ihr höchster Punkt schien etwa bei *a* (Fig. 2) zu liegen. Im Mittel mochte anfangs die Länge des Bruchdomes 18,0 m, die Breite 10,0 m und die größte Höhe über dem Gewölbescheitel etwa 12,0 m betragen. Später stürzten noch mehr Massen nach, sodaß der Bruchdom die im Längenschnitt dargestellte Form annahm, die von einem kleinen Stollen aus, der in 10 m Höhe über dem Firststollen von dem Portalschachte nach dem Hohlraum getrieben war, am 30. September 1878 gemessen wurde.

Die Ursachen des Bruches lassen sich aus geognostischen Verhältnissen, sowie aus der Lage der Zimmerung und der Leichen mit ziemlicher Sicherheit erkennen. Wahrscheinlich hat die beim Abteufen des Portalschachtes angetroffene starke Quelle früher ihren Lauf durch die Stelle des Bruchdomes genommen, dort in der kalkhaltigen Grauwacke den Kalk aufgelöst und dadurch dem Gestein die Festigkeit genommen. Die den Bruch begrenzenden glatten Flächen, sowie die im Vollaussbruch in der Firste angehauenen festen Bänke haben der Einwirkung des Wassers Widerstand geleistet, und so war über letzteren eine große Masse zusammenhanglosen mürben Gesteins angehäuft.

Es lagen hier nach dem Urteil des Ober-Berghauptmannes von Dechen, der den Bruch in Augenschein nahm, dieselben Verhältnisse vor, wie bei den im Bergbau so sehr gefürchteten „Glocken- oder Sargbildungen“, von denen er sagt: „Keine der übrigen, dem Bergmann drohenden Gefahren, beim Fahren, Fördern, Eintritt von schlagenden Wettern und Wasserdurchbrüchen, hat auch nur entfernt so zahlreiche Opfer gefordert.“

Aus der oben beschriebenen Lage der Hauptschwellen nach dem Bruche und der Leichen in der zweiten Zone ist mit Sicherheit zu schließen, daß dort zuerst eine örtliche Ablösung stattgefunden hat, welche die Verspannung der Zimmerung aufhob. Hierdurch wurde der schützenden Kalksteindecke das östliche Widerlager genommen, was um so leichter möglich, da, wie sich nach dem Bruche zeigte, die Kalksteinschichten von vielen senkrechten Stichen durchsetzt waren und im östlichen Stofse das oben erwähnte Nest mit mürbem Gestein sich befand. Demzufolge verloren die darüberliegenden Massen ihren Halt und stürzten zuerst an der Ostseite herunter, wobei die ganze Zimmerung nach dem westlichen Stofse hinüber geschoben und nach beiden Seiten hin umgeworfen wurde; denn einem solchen ganz unerwartet auftretenden Seitenschube (dessen Vorhandensein am besten aus der Form des Bruchdomes in der Grundriffszeichnung Fig. 2 zu erkennen ist) konnte die im übrigen außergewöhnlich starke Zimmerung infolge ihrer Konstruktion keinen genügenden Widerstand leisten.

Wodurch die erste Ablösung im östlichen Stofse der zweiten Zone entstehen konnte, darüber lassen sich nur Vermutungen aufstellen. Es erscheint jedoch kaum zweifelhaft, daß die verunglückten

Maurer selbst die erste Veranlassung zu dem Einsturze gegeben haben. Diese hatten nämlich die Arbeit in Stücklohn übernommen und waren daher an dem raschen Fortgang derselben interessiert. Zur Zeit des Einsturzes reichte die Mauerung schon bis zur untersten Wandrute und den Mauern waren die Zimmerungshölzer am raschen Arbeiten bereits hinderlich; es liegt daher die Vermutung nahe, daß die Arbeiter irgend ein nutzlos scheinendes Holz beseitigten, was ihnen noch kurz vorher von dem betreffenden Beamten aufs strengste untersagt worden war. Geschah dies aber, so mußte dadurch bei den geschilderten Gebirgsverhältnissen der Einsturz herbeigeführt werden.

Wiederherstellung der Bruchstrecke. Zum Wiederaufbau der zusammengebrochenen Strecke wurde zunächst am westlichen Stofse ein kleiner Verbindungsstollen durch die Schuttmassen getrieben. Gleichzeitig konnte die Wölbung der ersten Zone von Norden her auf 6,0 m Länge, soweit der stehen gebliebene Felsen eine sichere Decke bot, in einer Stärke von 1,20 m ohne Schwierigkeit wieder hergestellt werden, zumal die Widerlagsmauern bei dem Bruche unversehrt geblieben waren. Diese hatten eine Stärke von 60 cm und fand daher das stärkere Gewölbe nur zum Teil auf diesen und zum Teil auf dem festen Felsen seinen Halt.

Für die Durchföhrung der eigentlichen Bruchmasse erschien das bisher angewandte Centralstrebsensystem nicht zweckentsprechend, weil die in der Schuttmasse steckenden, zahlreichen starken Hölzer und eisernen Lehrbögen den scheibenförmigen Abbau des vollen Tunnelprofils zu sehr erschwert haben würden. Man entschloß sich deshalb, den Trümmerhaufen möglichst unberührt zu lassen, ihn als Hauptstütze für den weiteren Ausbau zu benutzen und nach der deutschen Bauweise zu arbeiten. Zu diesem Zwecke wurde von dem fertigen Gewölbe aus ein Firststollen *s* in die Schuttmassen vortrieben, der zunächst mit steil ansteigender Sohle und Firste angelegt und dann rückwärts auf seine richtige Höhe hergestellt wurde. In Fig. 4, Taf. X ist die ursprüngliche, geneigte Stollenfirst punktiert angegeben. Von diesem Stollen aus wurde in 3 bis 5 m Länge die Bogenausweitung Fig. 3 u. 5 vorgenommen, die Kronenbalken und Wandruten eingebaut und auf starke Längsträger in der Sohle des Firststollens abgestützt, die wieder mit Hilfe der in Fig. 5 u. 6 dargestellten Bock-Konstruktion *c* auf dem „Kern“ ihren Halt fanden. Gleichzeitig trieb man auf der Sohle des Tunnels am östlichen und westlichen Stofse Stollen, von denen aus das Widerlagsmauerwerk ausgebessert oder gänzlich erneuert wurde, stellte die Lehrbögen auf und brachte das 1,20 m starke Gewölbe unter vielen Schwierigkeiten zum Schluß. Dabei mußte man die Kronenbalken und Wandruten mit der Verpfählung fast ausnahmslos hinter dem Gewölbe belassen.

Auf diese Weise wurde eine Zone nach der anderen fertiggestellt und es gelang, die ganze Strecke von 24,0 m Länge in der Zeit vom 1. Juli bis 23. November 1878 ohne weiteren Unfall zum Schluß zu bringen. Das Gewölbe zeigt nicht die geringsten Unregelmäßigkeiten.

Zur Ausfüllung des Hohlraumes über der Bruchstelle wurde, nachdem seine Form vermitteltst des vom Schachte her getriebenen, kleinen Stollens genau erkannt war, von Tage aus nach dem höchsten Punkt der Höhle hin ein Bohrloch von 40 cm Weite gestofsen, durch das der ganze Raum mit Gerölle ausgefüllt wurde. Es mußten mehrmalige Nachfüllungen stattfinden, da die Füllmassen sich stark setzten. Auf solche Weise wurde das Entstehen eines Tagebruches verhindert; nur eine unbedeutende Unregelmäßigkeit in der jetzigen Kopfböschung des südlichen Voreinschnittes kennzeichnet die Stelle, unter welcher der Bruch stattfand.

Die Gesamtkosten der Bruchbewältigung stellten sich auf rund 28 000 M.

2. **Tagebruch beim Bau des Dettenberg-Tunnels**<sup>86)</sup>, vergl. Fig. 7 bis 14. Taf. X. „Der Dettenberg-Tunnel (schweiz. Nordostbahn, Linie Winterthur-Koblentz), der in einer Länge von 1800 m dicht bei dem Städtchen Bülach die Wasserscheide zwischen Töfs und Glatt durchbricht, liegt mit etwa 1500 m seiner Ausdehnung in der Meeres-Molasse, während auf 300 m das Tunnelprofil ganz oder teilweise in Gletscherschutt fällt, der auf der Westseite des Berges in einer Einsenkung der Molasse abgelagert ist.“

„Diese Moräne-Ablagerung bergmännisch abzubauen, bot erhebliche Schwierigkeiten: Lehm mit Sandschichten durchzogen, große Felsblöcke in Letten gebettet, außerdem Massen von Sand und Rollsteinen kamen so verworren und regellos und unter so starkem Wasserzudrang zu Tage, daß jeden Augenblick der Betrieb des Stollenvortriebs geändert werden mußte. Der häufige Wechsel undurchlassenden Materials mit schwimmendem Gebirge brachte es mit sich, daß manchmal gestaute Wasser unter hohem Druck in den Stollen durchbrachen, eine Menge Geröll und Sand mit sich föhrend, während

<sup>86)</sup> Nach einem Aufsätze des Sektions-Ingenieurs Rampacher in der schweizerischen Zeitschrift: „Die Eisenbahn“ 1878, II. S. 145.

gleichzeitig große, in das Profil ragende Findlingsblöcke, die durch Sprengarbeiten entfernt werden mußten, die sorgfältige Verbauung des Stollens gegen Schwemmsand ungemein erschwerten.“

„Der Stollen hatte längst die Molasse erreicht und der Wasserzutritt hatte sich allmählich in den früher so wasserreichen Gebirgsstrecken so weit vermindert, daß eine vollständige Entwässerung des durchfahrenen Gebirges angenommen werden mußte, als hier mit dem Vollausschub und der Mauerung des Tunnels vorgegangen wurde. Dank dieser Entwässerung ging auch die Ausweitung des Profils viel leichter von statten, als mit Rücksicht auf die Schwierigkeiten, die sich bei Ausführung des Stollens gezeigt, gehofft werden konnte.“

„Die Zimmerung wurde nach der englischen Tunnelbauweise durchgeführt, mit der Abänderung, daß ein Teil der Kronbalken in der Mitte noch durch Stempel unterstützt wurde. Der Einbau ist durch Fig. 7, 8, 12 u. 14 links, Taf. X dargestellt. Es mag noch bemerkt werden, daß in dem einspurigen Tunnel der Raum für die Stellung jener Mittelständer auf der Sohle des Ausbruchs sehr beschränkt ist, weil der Kern, der zwischen den beiden Fundamentgruben der Widerlager stehen bleibt, an Breite kaum mehr beträgt, als der Stollen.“

„Zunächst war es die Mauerung unter einem Schacht in der Nähe des künftigen Westportals, die durchgeführt wurde, weil hier durch den Schachtbau das Gebirge am meisten gelockert war. Dieser Schacht hatte nur für den Betrieb des Stollens dienen sollen und war daher in der Axe des Tunnels angelegt. Der sehr starke Wasserzudrang hatte aber die Abteufung des unteren Teiles des Schachtes so sehr verzögert, daß man schließlich vorgezogen hatte, den Schacht aufzugeben und den Tunnel einzig von dem inzwischen in der Ausführung vorgeschrittenen Voreinschnitt aus durch Stollen anzufahren.“

„Die Unterfangung des Schachtes und die Mauerung dieses, sowie des nächsten, gegen Berg angrenzenden Ringes war ohne Zwischenfall, freilich unter starkem Druck zu Ende geführt worden.“

„Am 1. Dezember 1874 wurde mit der Ausweitung des in Frage stehenden dritten Tunnelstückes begonnen und am 15. Dezember abends war es soweit fertig geworden, daß nur noch die Fundamentgrube des einen Widerlagers zu vollenden war. Am 16. früh sollte mit der Mauerung begonnen werden, nachdem in der Nacht die erwähnte Baugrube vollends ausgehoben war. Der Ausbruch war für ein Mauerstück von 4,8 m Länge angelegt (Fig. 7, Taf. X). Sechs von den zehn verwendeten Kronbalken waren in der Mitte durch Stempel unterstützt, die ihrerseits auf Quadern ruhten. Sämtliche Hölzer waren neu, die Kronbalken 40 cm stark und darüber, die Stempel von 30 cm Durchmesser (Fig. 12 u. 14, links).“

„Das Material des Ausbruchs bestand in Kies und großen Findlingen, nach unten mit Lehm stark vermischt und so fest anstehend, daß in dem unteren Teil des Widerlagers die Verpfählung überflüssig wurde und die Ausgrabung der Fundamente schwierig war.“

„Die erste Verschiebung der Hölzer zeigte sich am 16. Dezember morgens kurz vor 6 Uhr, indem ein Rollwagen an einen der Ständer streifte, während er bei früheren Fahrten ohne Anstand passiert war. Um 6 Uhr wurde plötzlich der Zwischenstempel unter dem linksseitigen der beiden mittleren Kronbalken durchgeknickt und es zeigte sich sofort, daß an Abhilfe nicht zu denken war, da, bis ein neuer Stempel beigebracht, zugeschnitten und aufgerichtet war, der Kronbalken durchgebrochen und ein teilweiser Einbruch des aus Kies bestehenden Materials eingetreten sein mußte.“

„Die Sache nahm aber einen noch schlimmeren Verlauf, denn kurze Zeit nachher wurde der Ständer unter dem rechtsseitigen mittleren Kronbalken ebenfalls zerdrückt und nun war der vollständige Einbruch nur noch eine Frage weniger Augenblicke. Der weitere Verlauf entzog sich natürlich der Beobachtung, aber ein starkes Getöse zeigte bald darauf an, daß das gefürchtete Unglück eingetreten und der Zusammenbruch erfolgt sei.“

„Der ganze Verlauf vom Bruch des ersten Stempels an hatte nicht viel über 20 Minuten gedauert. Das sofortige Erkennen der Gefahr und die Aufforderung an die Arbeiter, den Tunnel zu verlassen, hat es ermöglicht, daß alle in den Ausbruch- und Mauerstrecken gegen Berg beschäftigten Arbeiter sich gerade noch rechtzeitig entfernen konnten, die sonst, da der Stollen noch nicht durchgeschlagen war, vom Tage abgeschnitten gewesen wären.“

„Fig. 8 zeigt den Tunnel nach dem Einsturz. Der Bruch reichte nach oben bis zu Tage und hatte weit in die gemauerte Strecke hinein Schutt und Holztrümmer geworfen. Das Gewölbe hatte keine Beschädigung erlitten und die weitere Ausdehnung des Bruches gegen Westen verhindert. Der geringe Umfang des Trichters auf der Oberfläche des Berges zeigte, daß der Bruch mit nahezu senkrechter Begrenzungsfläche erfolgt war; so groß war aber die Heftigkeit gewesen, daß die Trümmer eines kleinen hölzernen Schuppens, der auf dem Berg über dem Tunnel gestanden, beim Neuausbruch des eingestürzten Stückes in der Tunnelfrist vorgefunden wurden; ja es war die hintere Brustschwelle gegen acht Meter

nach vorn geschleudert worden. Sie wurde unter dem Schutt im fertig gemauerten Teil des Tunnels ausgegraben und zwar in solcher Lage, daß der Stofs der beiden Hälften gegen die Tunnelmündung sah, die Enden der Brustschwelle aber nach hinten gerichtet waren. Nach Wiederöffnung des Stollens fand sich, daß am hinteren Ende der Verschüttung vom Sohlenstollen drei Gespärre zertrümmert worden waren; es war ferner auf 8,7 m Länge der Stollen neu herzustellen und außerdem der Schuttkegel im gemauerten Teil abzutragen. Der Firststollen war auf etwa 11 m Länge zerstört und außerdem waren mehrere Gespärre mit ihren Schwellen in den dort teilweise lehmigen Boden zwischen Sohlen- und Firststollen eingespriest, sodaß dieser Stollen auf 13 m Länge neu hergestellt werden mußte.“

Bezüglich der Veranlassung des Bruches sagt Herr Rampacher: „Es bleibt noch übrig, einige Worte über die wahrscheinliche Ursache des Einbruchs beizufügen, denn vollständig aufgeklärt hat sich der Vorfall schon darum nicht, weil die Hölzer, deren Lage und Zustand am ehesten erlaubt hätten, auf die Ursache zu schließen, bei der Wiederausgrabung des Schuttes zerstört werden mußten. Nur soviel war zu erkennen, daß alle Hölzer, die senkrecht gestanden, in der Richtung gegen Tag, also gegen das fertige Gewölbe hin gestürzt waren. Aus diesem Umstande und aus der Stellung der eingedrückten Gespärre im Firststollen, wie aus der oben erwähnten Lage der hinteren Brustschwelle unter dem Schutt läßt sich schließen, daß die erste Bewegung unbemerkt im Firststollen auftrat und der Druck sich gegen die Brust des Ausbruches, die den schwächsten Teil des englischen Einbausystems bildet, fortsetzte. Die Streben der Brustschwelle mögen dann gewichen und die letztere sich ausgebaucht haben, die Kronbalken senkten sich an der Brust und die langen Zwischenständer hatten vermehrten Druck aufzunehmen, dem sie nicht widerstanden. Der eigentliche Einbruch muß mit der Zertrümmerung der Brust begonnen und sofort bis zu Tage gereicht haben, da sich nur hieraus der tiefe Sturz des kleinen Holzschuppens in der Schuttmasse erklären läßt. Die Verstärkung der Brustzimmerung war es daher, auf die beim weiteren Verlaufe der Ausführung die meiste Rücksicht genommen wurde.“

Wiederherstellungsarbeiten. „Zunächst wurde der Schuttkegel abgetrieben und durch eine Bockwand *k* abgesperrt (Fig. 9 u. 10, Taf. X). Gleichzeitig waren auf der Oberfläche des Berges die Ränder des Trichters und der Schacht teilweise eingefüllt worden, um kleineren Nachstürzen auf der Oberfläche vorzubeugen und das Gewölbe unter dem Schacht gleichmäßig zu belasten. Mit dem Vortreiben des eigentlichen Stollens konnte am 18. Dezember begonnen werden. Da der Druck sehr groß war, mußten die Stollenkappen in der Mitte durch Bolzen vorläufig unterstützt werden. Am 27. Dezember, 11 Tage nach dem Einbruch, 9 Tage nach Beginn des Stollens, erfolgte der Durchschlag und am 29. Dezember konnte der Betrieb mit Rollwagen durch den Stollen wieder aufgenommen werden und die Arbeit ihren gewöhnlichen Fortgang nehmen. Die vorläufigen Stempel unter den Stollenkappen waren durch Unterzüge zu beiden Seiten ersetzt worden.“

„Die verhältnismäßig rasche Aufschließung des Tunnels war dadurch ermöglicht, daß die besten Arbeitskräfte in dreischichtigem Tagesbetrieb verwendet worden waren, denn von den Hölzern und Bohlen, die kreuz und quer mehr als einen Meter hoch auf der Sohle des Tunnels übereinanderlagen, hatte jedes Stück Zoll für Zoll mit Fuchsschwanz und Axt beseitigt werden müssen.“

„Der Bau des Firststollens wurde alsdann vom hinteren Ende des Bruches aus gegen Tag wieder aufgenommen, hauptsächlich weil er für die Lüftung des Tunnels wertvoll war. Auf den sofortigen Ausbruch der verschütteten Tunnelstrecke konnte verzichtet werden, da der Sohlenstollen weit genug vorgeückt war, um ohne Gefahr einer Überschreitung des Vollendungstermins die nötige Zahl von Angriffspunkten zu bieten. Erst drei Monate später, also zu einer Zeit, wo durch genügende Senkung das Material zur Ruhe gekommen war, wurde der Ausbruch des Stückes in einer Länge von 3 m aufs neue nach der beim englischen Einbausystem üblichen Weise vorgenommen.“

„Um eine Wiederholung eines solchen Unfalls zu verhindern, hatte man bedeutende Verstärkungen der Zimmerung angeordnet, wie der verstärkte Einbau Fig. 14, rechts und Fig. 13, Taf. X zeigt. Die Länge der einzelnen Ausbruchsstücke wurde im druckreichen Gebirge auf 3 bis 4 m beschränkt. Die beiden mittleren Kronbalken in der First wurden so lang bemessen, daß sie einige Gespärre des Firststollens stützen halfen und daß die Unterstützung der Kronbalken im Firststollen selbst von der Brust des Einbaues möglichst entfernt war. Statt der einzigen Brustschwelle, die bisher für den einspurigen Tunnel als genügend erachtet worden war, wurden deren zwei eingeführt und diese gegen wagerechten Schub nicht bloß durch Streben schief auf die Sohle abgestützt, sondern durch besondere wagerechte Spreizen gegen die Brustschwellen des fertigen Stückes abgesteift. Die fächerartig gestellten Mittelständer wurden durch einen kräftigen Bock mit senkrechten Säulen ersetzt; an Stelle der Quader zur Auflagerung der Ständer traten starke Schwellen.“

§ 101. **Wiederherstellungsarbeiten bei Firstbrüchen, bei denen die Bruchmassen nur einen Teil des Tunnelquerschnittes einnehmen.** Die Bewältigungsarbeiten bei Firstbrüchen mit nur teilweise verschüttetem Tunnelquerschnitt sind die schwierigsten und gefährlichsten, weil es bei ihnen von vornherein an einer die Arbeiter gegen nachstürzende Massen schützenden Decke fehlt, und die erste Sorge muß darauf gerichtet sein, eine solche herzustellen. Die Lage dieser Decke richtet sich nach der Form des Bruchquerschnittes. Bei stark seitlich aus dem Tunnelprofil hinaus reichendem Bruchraum wird eine schräg gerichtete Bruchabspernung notwendig werden; in der Regel wird es aber zweckmäÙig sein, den Bruchraum durch eine wagerechte Decke abzusperren. In allen Fällen ist es mit Rücksicht auf die späteren Arbeiten geboten, diese absperrende Decke auÙerhalb des Tunnelprofils einzubauen. Sie wird aus Rundhölzern *a* (Fig. 246) gebildet, die nahe nebeneinander, quer zwischen den Bruchwänden auf sicherem Unterbau gelagert werden. Dieser Unterbau läÙt sich rasch herstellen, wenn der Bruch nur eine geringe Längenausdehnung hat, sodafs die an den beiden Bruchenden erhalten gebliebenen Gespärre oder gar das Gewölbe zur Auflagerung der Unterzüge für die Deckhölzer benutzt werden können.

Fig. 246.

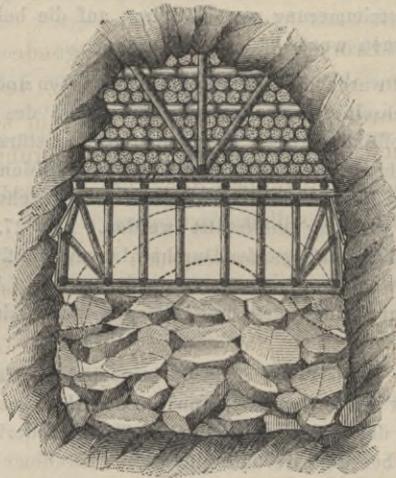
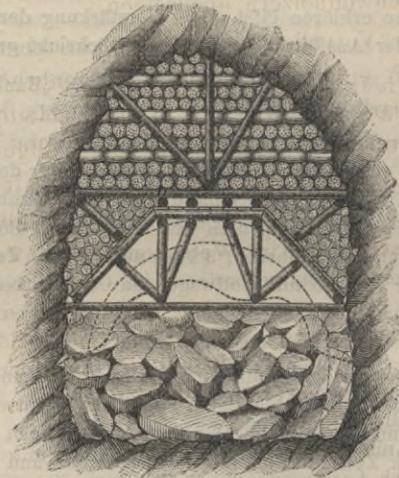


Fig. 247.



M. 1 : 250.

Ist dies nicht der Fall, dann gestaltet sich die Arbeit wesentlich schwieriger. Es müssen alsdann an beiden Bruchenden zunächst feste Bockwände in gleicher Weise, wie solche auch bei den im vorstehenden Paragraphen beschriebenen Arbeiten notwendig sind, eingebaut werden, um durch diese genügend feste Ausgangspunkte zu gewinnen.

Dann ist die Sturzmasse roh einzuebnen, in den meisten Fällen zweckmäÙig in verschiedenen Höhen, um auf den gewonnenen Flächen Querschwellen lagern zu können, die Längsschwellen aufzunehmen haben; auf diesen kann der mit den Bockwänden fest zu verbindende, vorläufige Unterbau für die Deckhölzer sicher aufgestellt werden.

Der Unterbau ist so einzurichten, dafs er einen Teil der endgiltigen Zimmerung bildet, sodafs bei dem Abbau der Schuttmasse, d. h. bei dem Freimachen des unteren Tunnelquerschnittes, eine Auswechselung oder nochmalige Unterbauung des ersteren nicht erforderlich ist. Es kann für den Unterbau sowohl Sparrenzimmerung, als auch Jochzimmerung zur Anwendung kommen. In ersterem Falle empfiehlt sich ein Gespärre

einfachster Form (Fig. 247) wegen seiner größeren Festigkeit und Einfachheit gegenüber mehrseitigen Gespärren. Die Verwendung der Jochzimmerung ist in Fig. 246 dargestellt. Ist dieser Unterbau auf eine gewisse, nicht zu große zu wählende Länge fertig, dann wird rasch mit dem Aufbringen der Deckhölzer vorgegangen, dem sofort das Verbauen des Bruchraumes über diesen durch einzelne Abstützungen und namentlich ein sorgfältiges Versetzen desselben mit Faschinen und Bergen folgt.

Um weitere Nachstürze möglichst zu verhüten, empfiehlt es sich, die Bruchabsperrung in der angegebenen Weise erst in der ganzen Länge des Bruches zu vollenden, bevor mit den übrigen Arbeiten begonnen wird. Diese können unter dem schützenden Dache bei einiger Vorsicht ohne große Gefahr in den bekannten Bauweisen durchgeführt werden, namentlich dann, wenn man sich dazu entschließt, nach der belgischen Bauweise zuerst das Gewölbe herzustellen und erst dann die unteren Schuttmassen fortzuräumen und die Widerlager in kurzen Längen nachträglich einzubauen. Es kann dies ebenso wie bei den im vorigen Paragraphen besprochenen Brüchen unbedenklich in den Fällen geschehen, wo die Schuttmasse aus festerem Gebirge besteht, wobei man nur die Vorsicht gebrauchen muß, das Gewölbe nicht wie gewöhnlich auf dünnen Bohlen, sondern in Berücksichtigung der mit Hohlräumen versehenen Schuttmasse auf starken Schwellhölzern anzusetzen.

Zur Vervollständigung der vorstehenden Erörterung diene das folgende Beispiel. Es betrifft einen bedeutenden Firstenbruch im Welschenennester Tunnel, dessen Bewältigungsarbeiten von Fr. Rziha geleitet wurden und von ihm in einem sehr lehrreichen Aufsatz<sup>80)</sup> eingehend neben allgemeinen, beachtenswerten Betrachtungen über derartige Arbeiten beschrieben sind. Wir geben nachstehend den Aufsatz auszugsweise wieder, indem wir für eingehendere Studien auf ihn selbst verweisen.

**Firtenbruch im Welschenennester Tunnel.** Das von dem ungefähr 700 m langen Tunnel zu durchörternde Gebirge bestand aus Grauwackenschiefer, durchstrichen von einzelnen festen Bänken.

Der Bau begann mit dem Vortreiben der entgegengesetzten Richtstollen, die man in der oberen Profilhälfte anlegte und denen man eine solche Höhe gab, daß die Stollensohle dereinst die Grenze der Ausweitung des oberen Profils festlegte. Besondere Verhältnisse waren Veranlassung, die südliche Seite des Tunnels (nach Siegen zu) zuerst in Mauerung zu setzen, und es begann hier zuerst die Ausweitung des Richtstollens.

Der nicht ganz vollendete Tunnелеinschnitt, ferner der Umstand, daß hart am Mundloche (Tunnelingänge) sich Lostrennungen im Gesteine zeigten, und daß das Einfallen der Gebirgsschichtungen mit dem Ansteigen des Geländes ziemlich gleichen Schritt hielt, was also durch ein Hinwegnehmen des Fußpunktes dieser Schichtungen jedenfalls Abrutschungen veranlaßt haben würde, führten zu dem Entschlusse, von der Ausweitung des Stollens gleich am Mundloche Abstand zu nehmen. Diese Ausweitung wurde vielmehr 16 m vom Beginne des Stollens im Tunnel vorgenommen und von dort ab kräftig weiter betrieben. Inzwischen war man durch den unvollendeten Einschnittsteil mit einem Sohlenstollen vorgegangen, um für die Sohle des inneren Bauwerks eine weitere Verbindung, sowie auch einen regelmäßigen Wasserabfluß zu erlangen. Es war beabsichtigt, den hierdurch geöffneten Raum auch für die Einziehung des Mauerwerkes zu benutzen; man legte daher den Stollen in die Richtung des Widerlagers. Um dies auch für die Herstellung des anderen gegenüberliegenden Widerlagers machen zu können, wurde von diesem Stollen ausgehend ein Querschlag im Innern des Tunnels getrieben, von wo ab der weitere Abbau der anderseitigen Strecken vorgenommen werden konnte. Die unterdessen vollendete obere Ausweitung gestattete ein Abtaufen auf diese Sohlenstollen und es entstand somit ein Bausystem mit Kern, wobei die obere Profilhälfte mit Centralstreben-Konstruktion abgestützt wurde.

Auf diese Weise war man zu Ende des Jahres 1858 so weit gekommen, die Ausmauerung des ersten Tunnelstückes (im Innern, 16 m vom Eingänge ab) vornehmen zu können. Die Richtstollen, deren

<sup>80)</sup> Rziha. Die Bewältigung des Bruches im Tunnel durch die Rahrbacher Höhe im Zuge der Ruhr-Sieg-Bahn. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1860, S. 71 bis 87.

Durchschlag im Anfange Juni 1859 stattfand, wurden rüstig vorwärts getrieben. Die Ausweitung des oberen Profils war zu dieser Zeit auf etwa 120 m Länge hergestellt und die Mauerung des Widerlagers im rechtsseitigen Sohlenstollen zu Anfang Januar 1859 beinahe vollendet.

Um die Arbeitsstellen miteinander besser zu verbinden, hatte man am Ende dieser bezeichneten Mauerlänge noch einen zweiten, breiten Querschlag (s. Fig. 248) in Form einer Durchgrabung des Mittelkörpers getrieben, und darüber hinweg die Auszimmerung des oberen Profils gestellt.

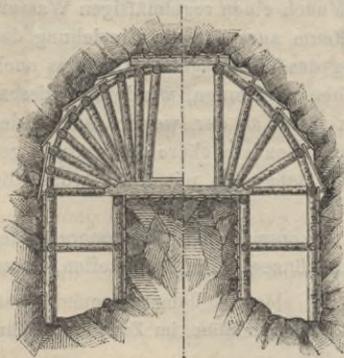
Fig. 248. M. 1 : 300.



Die Festigkeit des Gesteins im Welschennester Tunnel erschien als eine solche, daß eine leichte Zimmerung für ausreichend erachtet werden konnte und sogar einzelne Teile auch ohne eine solche Tragfähigkeit zu besitzen schienen. Wenn nun auch infolge der Beschaffenheit des Taggesteines und dessen ungünstigen Einfallens, sowie infolge des Durchstreichens einer lertigen Kluft nahe am Tunnelleingange sich einiger Druck äußerte, so war dieser von keiner besonderen Bedeutung, um so mehr, da der hier aufgeschlossene Stollen eine verhältnismäßig geringe Druckfläche darbot, auch konnte seine Verzimmerung auf leichte Weise kräftig verstärkt werden.

In dem in Mauerung begriffenen Teil gab sich jedoch ohne besondere vorherige Wahrnehmungen am 15. Januar 1859 11 Uhr vormittags eine massige Gesteinslostrennung in der Firste des Tunnels durch das mit Verdrückung der Zimmerung verbundene Getöse plötzlich kund. Die Bewegung der Massen nahm so rasch überhand, daß die angestrengteste Hilfeleistung nicht mehr Einhalt gebieten konnte und der vollständige Niedergang der Firste um 2 Uhr nachmittags erfolgte. Das Unglück war ein weitgreifendes; es war aber den Arbeitern keinerlei Beschädigung zugestoßen, da diese noch rechtzeitig gewarnt und zurückgezogen werden konnten. Der Bruch hatte weit über die Höhe und Breite des Tunnelprofils weggegriffen, die Zimmerung vollständig umgeworfen, zertrümmert und überdeckt, die an den Bruchraum grenzende Auszimmerung aber arg verwürgt, verschoben und zerquetscht. Zwischen diesen Hölzern ragten die Berge in großen Gesteinsblöcken herein, und es waren die Räume für das Widerlager, sowie das schon hergestellte Mauerwerk größtenteils verschüttet.

Fig. 249. M. 1 : 250.



Die dicht an den 16 m langen Stollen (vom Mundloche aus) anschließende, 16 m lange Ausweitung war zwar verschont geblieben, aber auch in dieser zusammen 32 m messenden Strecke äußerten sich schon sehr bedeutende Druckerscheinungen. Es war somit notwendig, hier (Fig. 249, links) kräftige Verstärkungen rasch eintreten zu lassen.

Zugleich suchte man in den hinter dem Bruche gelegenen, unversehrt gebliebenen Teil des Tunnels dadurch auf dem schnellsten Wege zu gelangen, daß man die Verschüttung der Stollenräume längs der Widerlagsmauer wieder zu entfernen trachtete. Man konnte

dann nicht allein den Bruch an der inneren Seite des Tunnels besichtigen und seine Aufgewältigung auch von dort aus in Angriff nehmen; sondern man war alsdann auch imstande, die dort angrenzende schwache Zimmerung (3 m Entfernung der einzelnen, in Fig. 250 dargestellten Gespärre), zweckentsprechend zu verstärken und die Arbeit in den Richtstollen (vor Ort) zu dem demnächst bevorstehenden Durchschlage wieder aufzunehmen.

Die Oberfläche der herabgestürzten Berge bildete im Bruchraume eine durch hervorstehende große Gesteinsblöcke ziemlich unregelmäßige Sohle, die aber durchweg einige Fuß über der Linie der eigentlichen Tunnelfirste lag. Die Decke und Seitenwände des Bruchraumes waren, wie auch aus der mannigfaltigen Klüftung des Gesteins hervorging, dergestalt geformt, daß große Stücke herausragten, daß viele von diesen Blöcken bei dem mindesten Anlasse noch herunterstürzen mußten und daß dies jeden Augenblick eintreten konnte. Man konnte ferner annehmen, daß infolge der Lagerungsverhältnisse das Herabstürzen dieses oder jenes Blockes ein Nachstürzen weiterer Massen bedingen müsse, daß also der Bruch, wenn nicht sogleich Gegenmittel angewandt würden, in der Länge und Höhe leicht noch weiter um sich greifen werde.

Später gemachte, möglichst genaue Aufnahmen des Bruchraumes sind durch das Längenprofil Fig. 248 dargestellt.

Wiederherstellungsarbeiten. Nachdem die Verstärkung der vorhandenen Tunnelzimmerung gegen das Mundloch hin dadurch erzielt worden war, daß man in die Felder der ursprünglich 4 und 3 m weit voneinander gestellten Zimmer noch je ein Hilfsgespärre und zwischen jede Wandrute noch eine Hilfswandrute mit den nötigen Centralstreben einbaute (Fig. 249 u. 250) konnte man an die Bruchgewältigung vom vorderen Ende aus schreiten, während der Sohlenstollen längs der Widerlagsmauer zur Erreichung des hinter dem Bruche gelegenen unversehrten Tunnelteils getrieben wurde.

Es wurde zu diesem Behufe vorerst ein sogenannter Bock eingebaut, der dazu dienen sollte, die bestehende Zimmerung kräftig zu verstärken und die Böschung der Schuttmasse vor Rutschungen zu bewahren. Dieser Bock liefs sich am zweckmäßigsten und hier am einfachsten dadurch herstellen, daß man unter die im Umfange des Tunnelprofils befindlichen Wandruten der Centralstreben-Konstruktion zwischen je ein Feld ihrer Gespärre ein Sparrenzimmer österreichischer Konstruktion einbaute, dasselbe mit Wandruten unterzog und für die Unterstüzung der Kappenunterzüge kräftige Säulen wählte. Die Konstruktion des Gespärres ist in Fig. 255, S. 318 dargestellt. Bei der Unterbauung der alten Zimmerung durch diese neue war es sehr leicht, die am Brucheingange verworren und zerknickt hervorragenden Zimmerungsteile nach und nach zu entfernen und so einen, wenn auch engen, doch notwendigen und gesicherten Zugang zum Bruche selbst, wie auch einen kräftigen Stützpunkt für den Beginn seiner Bewältigung zu bilden.

Fig. 250.

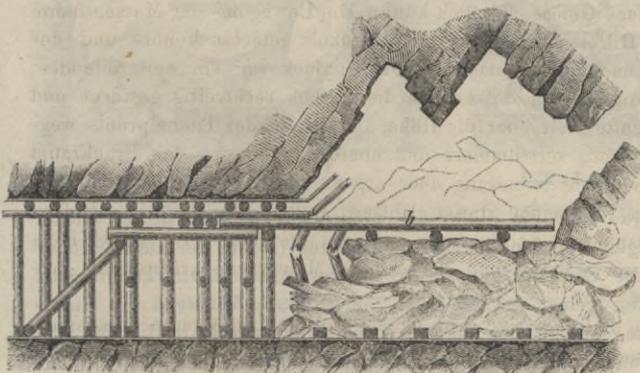


Fig. 251.



M. 1 : 250.

Es bedarf keiner Auseinandersetzung, wie wesentlich es war, die entstehende Bruchzimmerung, namentlich die Absperrung des Bruches, mit einem festen Punkte der vorhandenen Zimmerung des Tunnels, also mit dem Bocke in feste Verbindung zu bringen. Zur Erreichung dieses Zweckes wurden die unter den Kappen der Sparrenzimmer eben eingebauten Unterzüge *b* des Bockes gleich so lang genommen, daß sie um mehrere Meter in den Bruchraum hineinragten und so ein Auflager bildeten für die Hölzer der Bruchabsperrung (Fig. 250). Den erwähnten Grundsätzen gemäß handelte es sich nur darum, diese Ab-

sperrung auf den möglichst eingeebneten Schutt auszubreiten und dann ganz mit Versatzwerk zu belegen, sodaß kein hohler Bruchraum mehr vorhanden war.

Da die Absperrung in solcher Weise gehandhabt werden sollte, daß ihre spätere Unterfangung (für die sie alsdann eine Firste abgab) leicht bewerkstelligt werden konnte, so mußte sie zugleich von vornherein so angeordnet werden, daß sie Bestandteile der späteren Auszimmerung in sich trug. Für dieselbe wurde das in Österreich gebräuchliche Sparrenzimmer gewählt; es war dementsprechend angezeigt, gleich von vornherein die Unterzüge und Kappen dieser Zimmerung auf die Schuttmasse zu legen, und diese Bestandteile als Träger der Absperrung gelten zu lassen (Fig. 251).

Hieraus erhellt, daß es unnützig gewesen wäre, viel zu viel Zeit gebraucht und zu große Gefahr hervorgerufen haben würde, wenn man die Einebnung der Schuttmasse behufs der Einziehung der Absperrung über die ganze Breite des Bruchprofils und auf die ganze Länge des Bruches gleich auf einmal vorgenommen hätte; die Planierung war vielmehr nur teilweise und bloß auf eine der Entfernung und Länge der Unterzüge entsprechende Ausdehnung notwendig (Fig. 250 bis 257). Um den Unterzügen *bb* ein gleichmäßiges und von dem späteren Rollen der einzelnen Gesteinsstücke unabhängiges Auflager geben zu können, wurden sie auf Lagerhölzer gelegt, sowie zur Vermeidung von Verschiebungen sogleich vorübergehend untereinander festgeklammert. Auf die Unterzüge wurden 30 bis 36 cm starke Kappen *k* gelegt, angeklammert und darauf die Pfähle ausgebreitet.

Man hätte nun die Abstützung der Bruchfirste unmittelbar auf diesen Kappen bewerkstelligen können, allein es würde dies in späteren Baustadien zu Übelständen geführt haben. Außerdem hätte man eine Firstabsteifung jetzt (im Querprofil genommen) nur auf die Länge der Kappen bewerkstelligen können, während das Bedürfnis für die ganze Breite des Bruches vorhanden war. Demgemäß schien nichts natürlicher, als oberhalb der Kappen mit einem rasch hergestellten Trockenmauer- oder Versatzwerke *v* den aufgedeckten Graben bis zur Höhe der Böschungen wieder anzufüllen (Fig. 252). Hierdurch war aber ein Schutz der Zimmerung gegen etwaigen Nachsturz gewonnen, der in jedem Augenblicke eintreten und Unterzüge wie Kappen zertrümmern konnte.

Fig. 252.

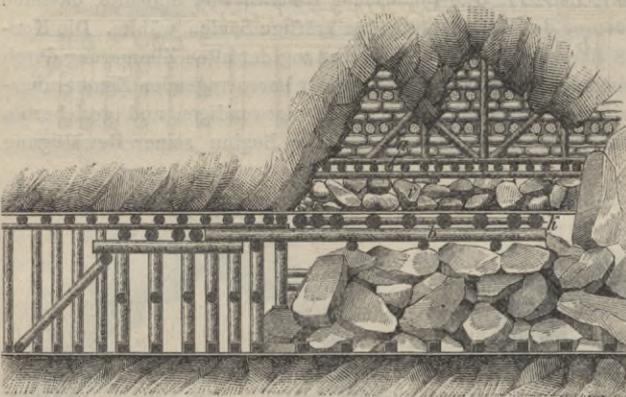


Fig. 253.



M. 1 : 250.

Mittels der Grabenausfüllung *v* wurde nun die Höhe der ursprünglichen Schuttlinie wieder erreicht und nach deren rasch bewerkstelligter oberflächlichen Ausgleichung (wobei der auszufüllende Grabenraum trefflich zu statten kam und die Zeit der ganzen Arbeit wesentlich kürzte) konnte jetzt über den ganzen Bruchraum eine Absperrung gelegt werden (Fig. 252 u. 253). Während die Unterkante der Kappen diejenige Höhe begrenzte, welche das spätere Gewölbe beanspruchte, lag die Abdeckung *a* mehrere Fuß höher. Wurden nun später die Sparrenzimmer (also auch die Kappen) bei dem Vorgehen der Wölbung herausgenommen, so bot die Absperrung eine von vornherein hergestellte zweite künstliche Decke, die für die Ausführung der Übermauerung oder für eine größere Gewölbestärke einen trefflichen Schutz und eine große Erleichterung gewähren mußte.

Es mag hier die Bemerkung erlaubt sein, daß eine Übermauerung des Gewölbes bei solchen großen Brüchen von wesentlichem Belange ist, da erstens etwaiges späteres Nachstürzen großer Massen, was ja vor vollständiger Trockenausmauerung erfolgen könnte, Schaden im Gewölbe verursachen kann und da zweitens eine solche Mauermaße die hier sich stark sammelnden Wasser vom Gewölbe besser abhält.

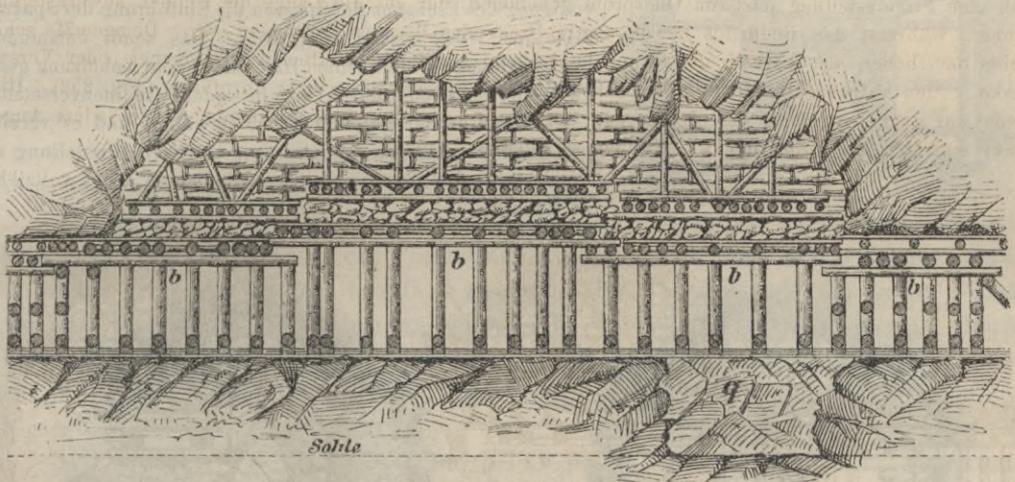
Die mehrfach erwähnte Höherlegung der Absperrung war ferner dadurch gerechtfertigt, daß man nicht wissen konnte, ob nicht infolge außergewöhnlicher Lasten und Verdrückung der Zimmerung die Kappen bis unter die Höhenlage der Oberkante des Gewölbes herabgedrückt werden würden.

Nach dem Einbaue der Absperrung war man des Bruches auf die eben eingebrachte Unterzugslänge Meister. Was nachher stürzte, war für die Arbeit der Bruchgewältigung von keinem besonderen Belange mehr; es konnte wenigstens für diese Strecke die Arbeit nicht mehr hindern. Dieses Ziel mußte auf die ganze Bruchlänge vorerst angestrebt werden, und zwar in möglichster Eile, um die Arbeiter der Gefahr rasch zu entrücken.

Inzwischen fand sich noch Gelegenheit, durch eine auf die Absperrung fußende leichte Zimmerung — da man jetzt der Bruchfirste näher gekommen war — einige der gefahrdrohendsten Blöcke abstützen und den ganzen Bruchraum mit Faschinenwerk (das leichteste und am schnellsten zum Ziele führende Material) ausstopfen zu können. Während diese Versetzung vor sich ging, wurde die Planierung für die zweiten Unterzüge bewerkstelligt.

Eben war diese beendet und eben wollte man zum Einziehen der Unterzüge schreiten, als das Herabstürzen der Decke immer drohender wurde, kleine Gesteinsstücke häufiger, zuletzt fast unausgesetzt fielen und der ganze Sturz der Firste endlich erfolgte. Die bis dahin eingebrachten Faschinen auf den ersten Unterzügen bewährten sich bei diesem Einsturze vortrefflich.

Fig. 254. M. 1 : 300.



Obwohl nun eine Arbeit von vielen Tagen verloren gegangen war, so war doch unterdessen der Sohlenstollen längs des Widerlagsmauerwerkes bis auf die hintere Bruchseite durchschlägig geworden, und man konnte die Bruchgewältigung von jetzt ab auch da betreiben. Es wiederholte sich hier die frühere Arbeit mit dem Einbaue des Bockes und der Verstärkung der angrenzenden Tunnelzimmerung (s. Fig. 254). Gestützt auf diesen Bock, d. h. auf dessen Unterzüge, wurden die Bruchunterzüge eingebaut, mit Kappen, Pfählen, Versatzwerk, Absperrung überdeckt und darauf die Bruchfirste möglichst abgezimmert.

Während dieser Arbeit brach zum zweitenmale die Firste über dem mittleren Stücke zusammen und es war somit diese Strecke die schwierigste. Die Berge wurden beseitigt und zwar mit vieler Mühe, da die meisten zersprengt werden mußten, die Bruchunterzüge eingezogen und wie früher behandelt. Endlich wurde der ganze noch leere Bruchraum mit Faschinen verstopft.

Somit war der ganze Bruch abgesperrt, d. h. die eigentliche Gefahr beseitigt, und die Hauptarbeit gethan.

Von jetzt ab erfolgte unter der neu gebildeten Decke der Bau dergestalt, wie er bei Aufschluß eines Tunnels als üblich vorkommt, es war nur der Übelstand vorhanden, daß die zu durchgrabende Masse aus großen Blöcken bestand, also Vorsicht erheischte. Diese oft viele Kubikmeter messenden Blöcke mußten zerschossen werden, und es erfolgte dadurch eine augenblickliche Lösung der Standfestigkeit, wodurch es notwendig wurde, für die anprallenden Lasten die Zimmerung vor jedem Abfeuern gehörig fest gegen jedes Ausweichen zu schützen.

Die Arbeit der Durchgrabung der Bruchberge und jene der Unterfangung der Absperrung bezw. der Bruchfirste begann nun mit der Bildung eines sogenannten hohen Stollens, d. h. mit dem Einbaue der Sparrenbocksäulen (Fig. 256). Dieser Arbeit entsprechend wurde der Einbau der Sparren vorgenommen (Fig. 257). Da hierbei die Entfernung derjenigen Bruchberge erfolgen mußte, die bisher den Enden der Absperrungshölzer ein Auflager abgegeben hatten, so mußte dieses anderweit ersetzt

Fig. 255.

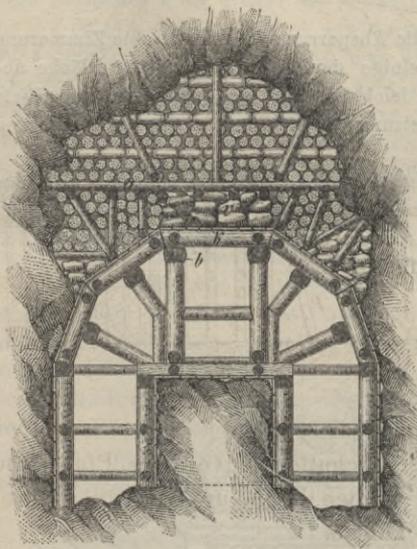


Fig. 256.

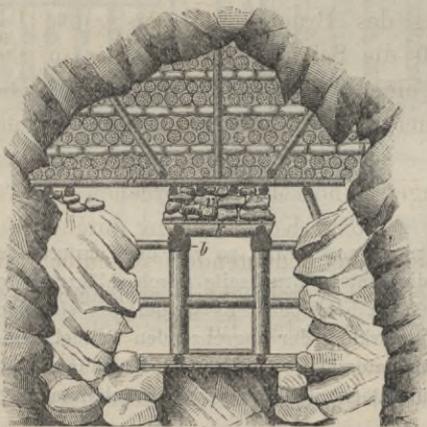


Fig. 257.

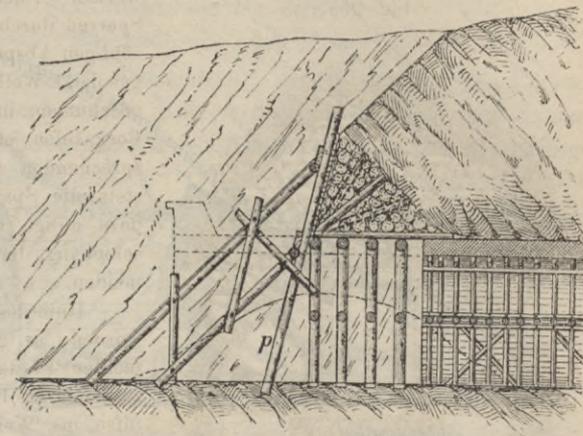


M. 1 : 250.

**§ 102. Wiederherstellungsarbeiten bei Mundlochbrüchen.** Die Mundlochbrüche, die, wie oben (§ 97) hervorgehoben, beim Unterfahren fertiger Kopfböschungen der Tunnelvoreinschnitte leicht eintreten können, nehmen häufig die in Fig. 258 angegebene Form an. Die Bewältigungsarbeiten derartiger Brüche sind äußerst schwierig und gefährlich, weil bei ihnen in noch größerem Maße als bei den Firstrüchen Nachstürze vorkommen, die sich allmählich bis über die ganze Höhe der Kopfböschung erstrecken, wenn nicht mit aller Kraft und auf die rascheste Weise wirksame Vorkehrungen getroffen werden. Diese bestehen in der Aufführung einer Pfahlwand  $p$  vor dem stehengebliebenen Rande der Kopfböschung (Fig. 258). Es werden dazu

lange, möglichst starke Stämme verwandt, die in den gewachsenen Boden der Einschnittssole eingelassen, etwas gegen den Bruchrand geneigt, nebeneinander aufgestellt und mit einer starken Verstrebung versehen werden. Die Pfahlwand vertritt die in den vorstehenden Paragraphen erörterten, bei den Firstbrüchen erforderlichen Bockwände; sie dient als Stützpunkt für eine Bruchabspernung, wenn eine solche mit Rücksicht auf die Zeit ihrer Herstellung unter den vorhandenen Umständen möglich ist. Würde der Einbau einer Bruchabspernung, wie sie in Fig. 258 angegeben ist, zu viel Zeit erfordern, dann wird sofort nach Herstellung der Pfahlwand hinter ihr der ganze Bruchraum von obenher mit Faschinen und Bergen verbaut, wobei dann natürlich der Schuttkegel hinter der Wand liegen

Fig. 258. M. 1:400.



bleibt, während er vor der Pfahlwand behufs Einbauens dieser unter allen Umständen beseitigt werden muß. Dies geschieht auch mit dem Schutte hinter der Pfahlwand in dem Falle, wenn eine Bruchabspernung eingebaut werden kann, um diese von vornherein unmittelbar auf der Tunnelsohle abstützen zu können.

In letzterem Falle ist nach Beendigung der Absperrung des Bruches die Ausführung der Mauerung hinter der Pfahlwand in dem gewonnenen freien Raume einfach und leicht. Mußte dagegen behufs Versetzung des Bruchraumes das ganze Tunnelprofil mit Bergen verschüttet werden, dann muß die Schuttmasse hinterher in gleicher Weise bergmännisch abgebaut werden, wie bei einem Tagebruche (§ 100, 2). Die vor der Bruchwand noch herzustellende Tunnelmauerung wird mit dem Portal im offenen Einschnitte aufgeführt.

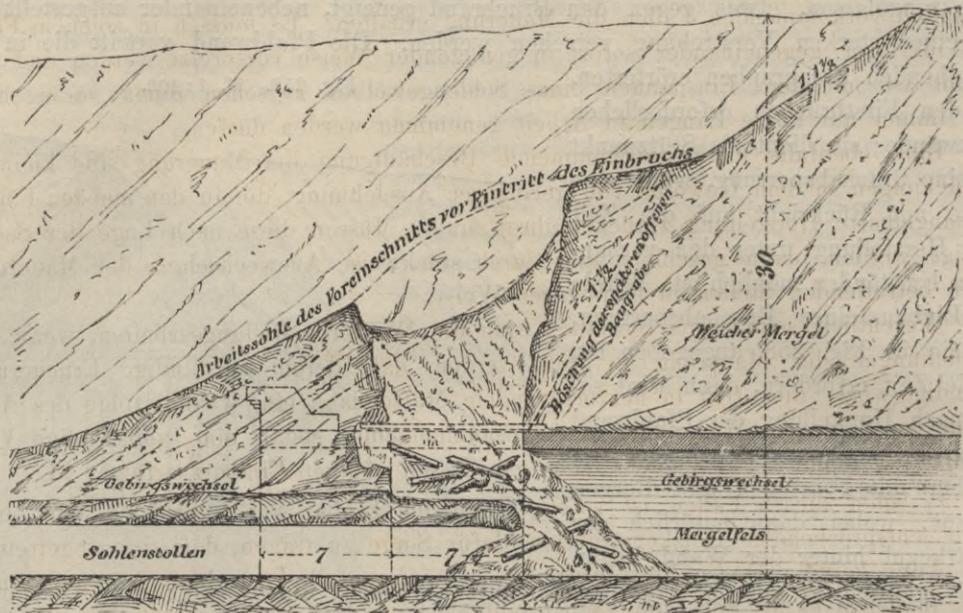
In der Regel wird man gut thun, bei eingetretenen Mundlochbrüchen den Tunnel etwas zu verkürzen, um die mehr oder weniger zerstörte Kopfböschung durch einfaches Nachnehmen wieder herstellen zu können. Bei sehr bedeutenden Mundlochbrüchen wird man überhaupt häufig zweckmäÙig den ganzen Voreinschnitt verlängern, soweit es notwendig ist, um kostspielige bergmännische Arbeiten für die Vollendung des Tunnels zu ersparen. In diesem Falle wird man selbstverständlich von der Herstellung der oben angeführten Pfahlwand absehen und sofort mit den Erdarbeiten zur Verlängerung des Voreinschnittes vorgehen.

Ein eigenartiger Mundlochbruch, bei dem die ganze noch rückständige Tunnelmauerung im offenen Einschnitte hergestellt wurde, ereignete sich beim Bau des Forst-Tunnels durch die Wasserscheide der württembergischen Schwarzwaldbahn von Stuttgart nach Calw. Die nachfolgende Beschreibung hiervon verdanken wir der freundlichen Mitteilung des Herrn Baumeisters Gelbecke in Köln.

Der Forst-Tunnel, 700 m lang, ist in den Jahren 1868—71 erbaut. Am östlichen Mundloch, wo der Einbruch im Juni 1871 eintrat, befand sich der Tunnel auf etwa 3 m Höhe von der Sohle in Mergelfelsen und darüber in weichem Mergel.

Der Tunnel wurde nach englischer Bauweise ausgeführt, die Arbeitszonen machte man 7 m lang. Durch den 30 m tiefen Voreinschnitt war in den Tunnel hinein ein

Fig. 259 M. 1:400.



Sohlenstollen getrieben. Die 3. Zone vom Portal aus wurde ohne Schwierigkeit ausbrochen und geschlossen. Als die 2. Zone zur Hälfte im Ausbruch fertig war und nur noch eine etwa  $1\frac{1}{2}$  m dicke Felsdecke den Sohlenstollen vom oberen Ausbruch trennte, hatte der Aushub des Voreinschnittes etwa den in Fig. 259 angegebenen Stand erreicht. Ohne dafs sich vorher Druckerscheinungen bemerkbar machten, brachen in einer Nacht plötzlich die 50 cm starken Kronbalken zusammen und es entstand ein Tagebruch, dessen Trümmer sowohl den Ausbruch, als auch eine kurze Strecke des fertigen Tunnels ausfüllten. Die Felsdecke über dem Sohlenstollen hielt Stand, sodafs von dem Stollen ohne besonders grofse Mühe der Weg in den Tunnel gebahnt werden konnte.

Da der Aushub des Voreinschnittes schon weit gediehen war, so entschlofs man sich, die eingebrochene Tunnelzone mit der Portalzone, zusammen etwa 14 m lang, offen herzustellen. Dazu war eine sehr grofse Baugrube erforderlich, die mit  $\frac{1}{2}$ fachen Böschungen angelegt wurde; die unteren 3 Meter konnten, weil im Felsen, steiler gehalten werden. Soweit es möglich war, stützte man die steilen Wände mit einzelnen Streben ab. Die Ausbruch- und Mauerungsarbeiten wurden mit möglichster Beschleunigung betrieben. Zur Sicherung der in der Baugrube beschäftigten Arbeiter waren an deren oberem Rande 2 bis 3 Wachtposten aufgestellt, die auf etwaige Ablösungen an den steilen Wänden achtgaben und die Arbeiter durch vereinbarte Signale warnten. Es gelang, die beiden Portalstücke auf diese Weise in kurzer Zeit und ohne jeden Unfall fertigzustellen, worauf die Baugrube der Kopfböschung entsprechend wiederum sorgfältig verfüllt wurde.

### § 103. Wiederherstellung der gebrochenen oder zerstörten Mauerung.

Die am häufigsten vorkommende Beschädigung oder vielmehr Verdrückung der Mauerung besteht in dem Zusammengehen der Widerlager, indem diese in den Tunnel hinein verschoben werden. Tritt diese Bewegung nur mäfsig auf, wie das hier zunächst an-

genommen ist und wird ihr früh genug entgegen gearbeitet, dann kann man in den gewöhnlich vorkommenden Fällen die Mauerung erhalten. Es müssen in solchem Falle die Widerlager gegeneinander sofort in genügender Weise verspreizt werden und ungesäumt ist mit dem Einspannen eines Sohlengewölbes zwischen ihnen vorzugehen, wobei immer nur kurze Längen in Arbeit genommen werden dürfen.

Eine ebenfalls häufig vorkommende Beschädigung der Mauerung sind kleinere Verdrückungen in dem Gewölbe von geringerer Ausdehnung, die in den meisten Fällen auf mangelhafte Herstellung zurückzuführen sind. Müssen diese nach Lage der Sache beseitigt werden, dann geschieht dies durch stückweise Auswechslung der Mauerung an den betreffenden Stellen in einfachster Weise.

Wesentlich schwieriger gestalten sich die Wiederherstellungsarbeiten, wenn die Verdrückungen der Mauerung so groß werden, daß deren vollständige Erneuerung notwendig wird; dies tritt in hervorragendem Maße dann ein, wenn infolge des Auftreibens der Sohle die Widerlager stark zusammengehen, sodaß eine vollständige Verknickung des Mauerwerks entsteht, oder gar dessen völliger Einsturz erfolgt.

In allen diesen Fällen ist sofort durch den Einbau von Lehrbögen oder einer anderen entsprechenden Holzkonstruktion dafür Sorge zu tragen, daß die eingetretene Verdrückung keine weiteren Fortschritte macht; nötigenfalls ist in besonders schlimmen Fällen, in denen es an Zeit zum Einbau einfacher, regelrechter Konstruktionen mangelt, der ganze Tunnelquerschnitt an einzelnen Stellen mit einer Steinpackung oder mit aufeinander geschichteten Hölzern zu versetzen. Kann alsdann zur Erneuerung des Mauerwerks geschritten werden, dann wird dieses von untenher abgebrochen, das hinterliegende Gebirge für den Einbau der neuen Mauerung abgebaut, wobei die eingebauten Lehrbögen oder sonstigen Zimmerungen häufig als Träger für die Abstützung des neu hergestellten freien Raumes benutzt werden. Die Ausführung der neuen Mauerung selbst bietet keine Schwierigkeit. Es werden hierfür entweder die früher aufgestellten Lehrbögen durch Aufsattelung nutzbar gemacht oder neue eingestellt.

Auch hier sollen einige der Praxis entnommene Beispiele das Vorstehende ergänzen.

*Neuaktion d. Gewölbes wurde nur bei Abstützung durch d. t.*

**1. Bruch der Mauerung im Czernitzer Tunnel.<sup>90)</sup>** Der rund 750 m lange Tunnel ist in den Jahren 1864 bis 1868 erbaut. Das von ihm zu durchörternde Gebirge besteht aus Gipsletten, der bei Wasserzufluß sich vollständig auflöst und schwimmend wird. Die Ausführung des Tunnels geschah nach der deutschen Bauart. Im Frühjahr 1857 war sie soweit gediehen, daß die Widerlager und das Gewölbe in ganzer Länge fertiggestellt waren, es fehlte nur noch die Forträumung des Kernes auf eine Länge von 150 m und die Einspannung des Sohlengewölbes in einer Länge von 200 m.

Diese Arbeiten waren im Gange, als sich nach einem mehrere Tage anhaltenden Regen ein stärkerer Wasserandrang und infolge dessen ein kräftiger Gebirgsdruck auf die Widerlagsmauern bemerklich machte. Die wagerechten Lagerhölzer, die zwischen dem Widerlager eingespannt waren, wurden gehoben, das stellenweise bereits fertige Sohlengewölbe an den Kämpfern zerbrochen. Bald waren auch feine Risse in dem Mauerwerk bemerkbar, doch erstreckten sie sich noch nicht über die Kämpferlinie des Hauptgewölbes hinaus. Allmählich füllte sich der Tunnelraum mit Erdmassen an, die aus der Sohle aufdrangen; wo das Sohlengewölbe bereits geschlossen war, wurde es zerbrochen und mit gehoben.

Ein schon vor längerer Zeit geschlossenes Stück Sohlengewölbe von 4 m Länge in der Nähe des Förderschachtes, das sich Ende April noch in gutem Zustande befand, war zertrümmert und am 5. Mai 1 m, am 7. Mai 1,7 m emporgehoben. In der Nacht vom 9. zum 10. Mai erfolgte plötzlich die vollständige Zertrümmerung eines Stückes Mauerung von mehr als 70 m Länge. Innerhalb weniger Stunden hob sich die Sohle um 3 bis 4 m, während sich die Firste um 1,5 bis 2 m senkte; der Zusammensturz mußte

<sup>90)</sup> Auszugsweise wiedergegeben nach dem Aufsätze von Simon: Über den Bau, den Einsturz und die Wiederherstellung des Tunnels bei Czernitz. Zeitschr. f. Bauw. 1860.

jeden Augenblick erwartet werden. Die zerbrechenden und umstürzenden Hölzer der Rüstungen, die herabstürzenden Trümmer des sich auseinanderlösenden Mauerwerks machten ein längeres Verweilen innerhalb des Tunnels unmöglich, es mußten daher die Arbeiter zurückgezogen und das Bauwerk einstweilen dem Schicksal überlassen werden.

Der Tunnel war auf eine Länge von mehr als 200 m beschädigt. Die Gewölbedecke war soweit heruntergedrückt, daß die Scheitelsenkung der am meisten beschädigten Stelle 2,3 m betrug; die Widerlagsmauern, deren Entfernung in den Sockeln nach dem ursprünglichen Querschnitt 7,1 m ausmachte, waren bis auf 1,3 m zusammengeschoben. Das Sohlengewölbe war durchweg gehoben und zertrümmert. In der Kämpferlinie und zum Teil auch in dem ganzen Umfange des Profils war das Mauerwerk zerbrochen, teilweise herabgestürzt und hatte sich durch starke senkrechte und wagerechte Risse in seiner ganzen Stärke auseinandergelöst. Das Gelände oberhalb des Tunnels war gesunken. Sämtliche in der Nähe des Tunnels stehenden Gebäude waren beschädigt und von Einsturz bedroht.

Man entschloß sich nun, die Tunnelarbeiten auf der noch unbeschädigten Strecke vorerhand nicht weiter fortzusetzen, die Bruchstelle aber, wenn irgend möglich, durch Erbauung einer starken Verzimmerung so weit vor einer noch größeren Zerstörung zu bewahren, daß die vorhandene Öffnung erhalten bliebe, um bei einer etwaigen Wiederaufnahme des Baues einen Angriffspunkt zu haben, von dem aus die Arbeiten begonnen werden konnten.

Ungeachtet der großen Gefahren, unter denen mit der Aufstellung der Verzimmerung innerhalb der Bruchstelle begonnen wurde, gelang es, solche in einem Zeitraum von etwa sechs Wochen so weit herzustellen, daß zwischen den dicht aneinanderstehenden Hölzern ein schmaler Gang gebildet war, innerhalb dessen die Bruchstelle gefahrlos passiert werden konnte; außerdem war auf ihrer Nordseite eine 3,75 m (12 Fuß) starke Versatzmauer aufgeführt, welche die Fortsetzung des Bruches nach dieser Seite hin verhindern sollte. Hiernach erfolgte etwa in der Mitte des Monats Juli 1857 die gänzliche Einstellung des Baues, der bis dahin einen Kostenaufwand von rund 1 921 500 M. verursacht hatte.

Fig. 260. M. 1:200.

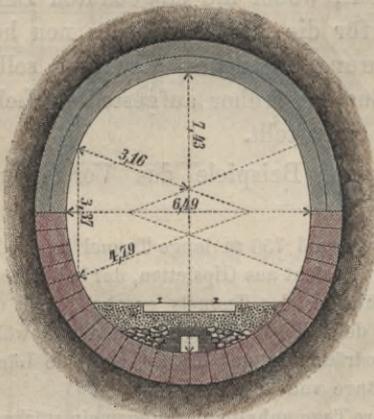
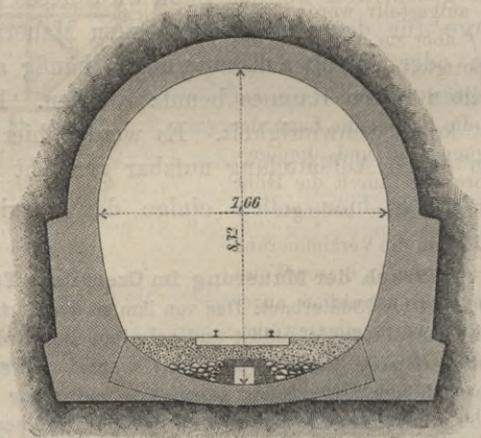


Fig. 261.



(Die Figuren 261 bis 271 sind ebenfalls in 1:200 gezeichnet.)

Wiederherstellungsarbeiten. Diese begannen im Mai 1858 und wurden Mitte Dezember desselben Jahres beendet. Dabei wurde aber davon Abstand genommen, den Tunnel zweigleisig durchzuführen, man beschränkte sich vielmehr darauf, die zu erneuernde Strecke eingleisig herzustellen. Das dieser Ausführung zu Grunde gelegte Profil ist in Fig. 260 dargestellt. Die untere Hälfte sollte aus Werksteinen, die obere aus Ziegelsteinen gefertigt werden, und es bedurfte des Neubaus in einer Länge von 40 m, während der übrige Teil der beschädigten Tunnelstrecke weit genug war, um die zur Herstellung einer regelmäßigen und geschlossenen Form erforderlichen Ausbesserungen zuzulassen. Wo die Beschädigung keine größere Ausdehnung erreicht hatte, ließ sich die Ausbesserung in der Weise ausführen, daß die Widerlagsmauern durch ein stark gewölbtes Sohlengewölbe aus Werksteinen befestigt, das zerbrochene Mauerwerk des Hauptgewölbes beseitigt und durch neu gefertigtes ersetzt wurde. Auf der Tunnelstrecke, die der Bruchstelle näher gelegen war, hatte aber auch eine Zertrümmerung des Hauptgewölbes in dem oberen Teile und selbst im Scheitel stattgefunden, weshalb große Stücke des nicht mehr haltbaren Mauerwerks ausgewechselt werden mußten. Endlich hatten auch Teile der Widerlags-

mauern durch Risse und Sprünge gelitten, die ebenfalls neu zu fertigen waren. Meistens konnten diese Ausbesserungen mit Hilfe der alten noch stehenden Baurüstung ausgeführt werden, nachdem diese an denjenigen Punkten, wo größere Stücke des Mauerwerks auszubrechen waren, Verstärkungen durch eingefügte Hölzer erhalten hatte.

Das auf diese Weise hergestellte Profil ist in Fig. 261 gezeichnet; es verengt sich allmählich aus dem zweigleisigen Profil zu einem eingleisigen. Auf der Strecke des letzteren mußte, wie vorhin erwähnt, eine Länge von 40 m vollständig neu erbaut werden. Da das zertrümmerte Mauerwerk durch die vor Einstellung des Baues errichtete Verzimmerung getragen wurde, so kam es darauf an, deren Hauptkonstruktionsteile als Stützpunkte für den Bau nutzbar zu machen, und sie, soweit es nötig war, in eine diesem Zweck entsprechende Lage zu bringen. Nachdem daher der untere Teil der Bruchstelle von eingedrungener Erde und Mauertrümmern geräumt war, wurde er gleichfalls mit Verzimmerung versehen, und hierdurch ein die Bruchstelle durchfahrender Stollen hergestellt.

Die Lage und Stellung der einzelnen Verbandstücke bestimmte sich dadurch, daß auf der Spreize *a* (Fig. 262) das Lehrgerüst für das Schlufsgewölbe aufgestellt werden, die Sohle *f* aber zur Aufnahme des Transportgleises dienen sollte; die Lage der Ständer *c c* war durch die Breite, die Lage der Unterzüge *d d* und diejenige der Spreize *b* durch die Höhe der Förderwagen bedingt.

Nachdem die Verzimmerung der Bruchstelle in dieser Weise der neuen Konstruktion angepaßt war, wurde ein Gewölbestück nach Fig. 262 zwischen den zusammengeschobenen Widerlagsmauern und so tief, daß die Mauerung des Profils darüber Platz finden konnte, eingespannt, wodurch der freie Raum Abschluss gegen das fernere Eindringen der Erde erhielt. Der Fortschritt des Baues ist in den Figuren 263 bis 266 dargestellt. Sobald das alte Mauerwerk und, wo nötig, das dahinter liegende Gebirge ausgebrochen und beseitigt, das noch zu erhaltende Mauerwerk aber durch Absteifungen sorgfältig unterstützt worden war, wurden die einzelnen Teile des Profils, und zwar die Sohle, die Seitenstücke und das Schlufsgewölbe, nacheinander aufgeführt und unmittelbar nach der Herstellung wieder stark ver-

Fig. 262.

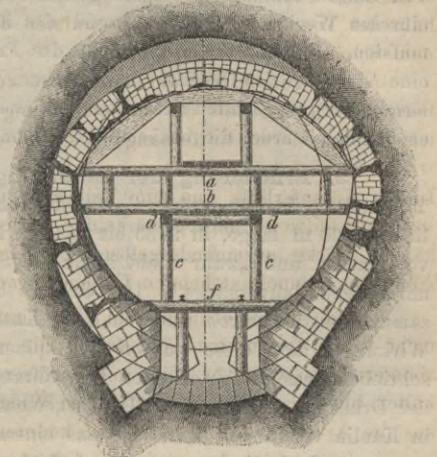


Fig. 263.

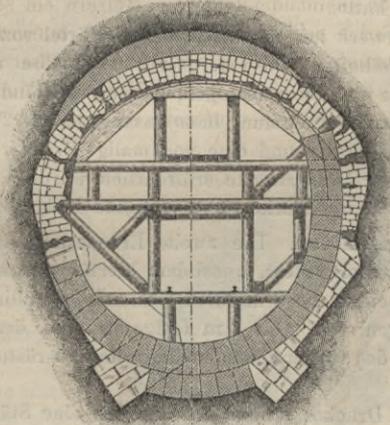


Fig. 265.

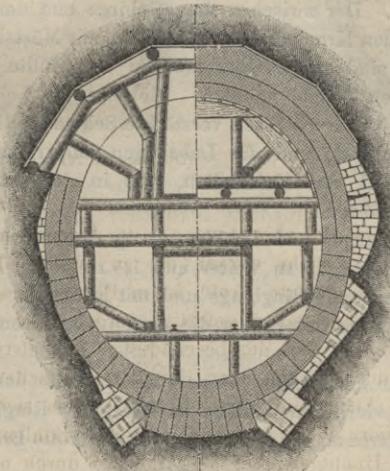


Fig. 264.

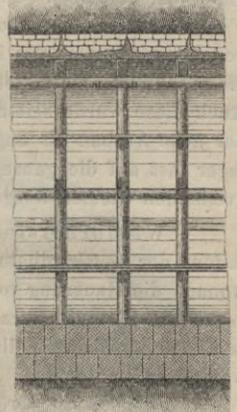
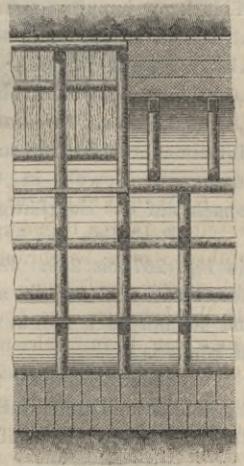


Fig. 266.



stärkt wieder stark ver-

zimmert. Ungeachtet dieser Sicherungsmaßregel und obgleich die Arbeiten immer nur in kurzen, 3 bis 4 m langen Stücken in Angriff genommen wurden, fand doch ein so starker Gebirgsdruck statt, daß einzelne Werksteine noch während des Baues zerdrückt wurden und wieder herausgenommen werden mußten. Erst als die Mittelstücke des Profils ausgeführt waren, welche die Widerlager bildeten, war eine Abnahme des Druckes zu bemerken, und nach Beendigung der Arbeit hörten die besorgniserregenden Erscheinungen gänzlich auf. Die Verzimierung leistete der Pressung vollständigen Widerstand, wodurch es möglich wurde, die beabsichtigte Form durchweg genau herzustellen.

**2. Erneuerung der Mauerung in der nördlichen Druckstrecke des St. Gotthard-Tunnels.**<sup>91)</sup> In dem großen Gotthard-Tunnel kamen drei druckreiche Strecken vor, deren Ausbau, namentlich der 90 m lange, in 2755 bis 2844 m Entfernung vom Nordportal gelegene, besondere Schwierigkeiten verursachte und „zwar nicht allein wegen ungünstiger Gebirgsbeschaffenheit, sondern vielmehr infolge unrichtigen Bauvorgangs.“ Das Gebirge bestand auf eine kurze Länge von 10 m aus einer Breccie, zusammengesetzt aus kohlen-saurem Kalk, Kaolin, Gips und Anhydrit, übte daher bei Wasseraufnahme blähende Wirkungen aus; diese wurden nun später mehrfach unrichtiger Weise der ganzen Druckstrecke zugeschrieben, was zu fehlerhaften Bauordnungen führen mußte. Der übrige und größte Teil des Gebirges der Druckstrecke bestand teils aus zersetztem und lettig aufgelöstem Gneis, in dem der Feldspat vielfach in Kaolin verwandelt war, teils aus einem durch Graphit geschwärtzten Thonschiefer, der teilweise lettig zersetzt und plastisch war; nach Aufnahme von Feuchtigkeit gab es eine seifige und schmierige Masse, die infolge geringen Zusammenhangs und mangelnder Reibung großen Druck äußerte, jedoch keinen eigentlich blähenden Charakter hatte.

Das aus Bruchsteinmauerwerk mit Versatzsteinen in Mörtel von hydraulischem Kalk und in Ringen von 5 bis 10 m Länge in mangelhafter Weise hergestellte Gewölbe und die Widerlager erwiesen sich als zu schwach; sie erhielten Risse und Verdrückungen, die eine vollständige Erneuerung notwendig machten. Auch diese wurde seitens der Bauunternehmung in so unsachgemäßer Weise durchgeführt, daß sich sogar der neue Ausbau als ungenügend erwies und eine nochmalige Erneuerung des Gewölbes und der Widerlager fast auf die ganze Länge der Druckstrecke erforderlich wurde. Nur das von vornherein aus durchgreifenden Steinen hergestellte, 70 cm starke Sohlengewölbe hielt sich dauernd gut.

Wiederherstellungsarbeiten. Die zweite Erneuerung begann im April 1879 und erfolgte seitens der Gotthardbahn-Gesellschaft selbst, „nachdem hierfür vorerst ein Projekt ausgearbeitet wurde, wonach die Mauerung von den beiden, noch in gutem Zustande befindlichen Enden der Strecke ausgehend, gegen die Mitte in kurzen Ringen von 4 bis 6 m fortgesetzt und der Ausbruch eines folgenden Teiles erst nach gänzlicher Vollendung des vorhergehenden, in voller Ausrüstung verbleibenden Ringes begonnen werden sollte.“

Je nach der Größe des Druckes erhielt das Gewölbe eine Stärke von 1,0 bis 1,5 m im Scheitel und von 1,2 bis 2,5 m im Kämpfer. An den druckreicheren Stellen wurden für das Gewölbe nach dem Fugenschnitt bearbeitete Quader aus Gneisgranit und Cementmörtel verwandt. Zu den Grundmauern der Widerlager benutzte man Beton. Der zwischen dem Gebirge und dem Mauerwerke verbleibende Raum ist, soweit es die dahinterliegenden Kronenbalken gestatten, mit Mörtelmauerwerk ausgefüllt worden. In Abständen von ungefähr 1,0 m sind mit Steinen trocken ausgefüllte Wasserschlitzelassen, die etwa 1,0 m über Schwellenhöhe in den Tunnel münden. Die eisernen Lehrbögen wurden in Abständen von 0,5 bis 0,7 m auf durchlaufende, mit I-I-Eisen verstärkte Schwellen (Bogenstühle) gesetzt, letztere durch Mörtelmauern (Bogenmauern) gestützt, und die Lehrbögen außerdem durch Lang- und Querschwellen verspannt. Sowohl in der Wahl der Materialien, wie in der Ausführung des Mauerwerks wurde sonach auf das Sorgfältigste verfahren.

Bezüglich des Arbeitsvorganges und der Zimmerung dieser zweiten Erneuerung verweisen wir auf die Fig. 267 bis 269. Es wurde ein 2,0 m weiter und 1,5 m hoher Firststollen 1,0 m über dem alten Gewölbescheitel auf die auszubrechende Ringlänge und mit Rücksicht auf Setzungen ansteigend getrieben und sodann nach rechts und links erweitert, um die ersten vier Kronenbalken (0,3 m stark) aufnehmen zu können.

Sodann schlitze man den Firststollen bis auf die Schwelle des unteren Bockes durch, erweiterte den Schlitz und unterstützte die vier Kronenbalken auf die ganze Ringlänge durch die endgiltigen, 0,3 m starken Ständer. Hierauf erweiterte man das obere Profil auf volle Breite nach rechts und links fächer-

<sup>91)</sup> Die nachfolgenden Angaben und Figuren sind der sehr eingehenden und lehrreichen Abhandlung: „Der Ausbau des Gotthard-Tunnels“ vom Geh. Regierungsrat und Professor Dolezalek in der Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1882, Heft 2 bis 4 entnommen.

Fig. 267. Schnitt A B.

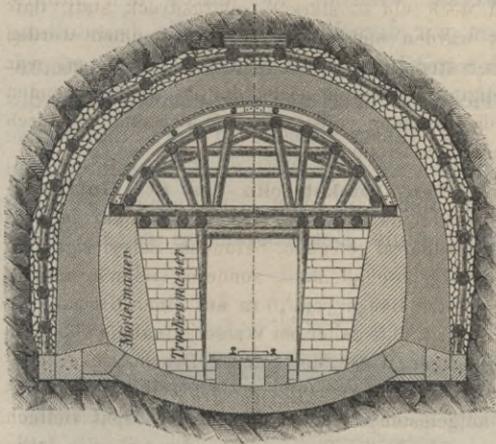
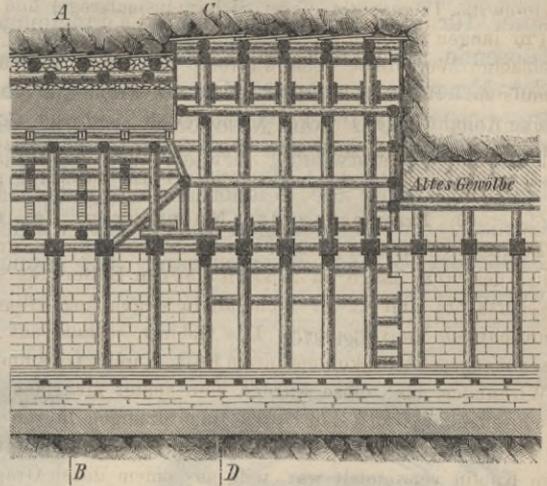


Fig. 268.



förmig, um einen Kronenbalken nach dem anderen einzubringen und durch die Ständer unterstützen zu können. Nach Vollendung der mittlerweile auch mit Quer- und Längsverband versehenen Zimmerung des oberen Profilitheiles wurde der Raum für die Widerlager rechts und links ausgebrochen und ausgezimmert.

Der Ausbruch und die Zimmerung gingen trotz des ungewöhnlich großen Profils von 14 m Weite mit Ausnahme einiger kleinen Längsbewegungen ziemlich anstandslos von statten. Die Zimmerung des Sohlenstollens, die seitlich verschoben wurde, mußte wiederholt ausgewechselt werden. Der Holzverbrauch für die Zimmerung, deren Konstruktion mit Rücksicht auf das bestehende und gut erhaltene Sohlengewölbe zu beurteilen ist, war ein bedeutender und betrug etwa 15 cbm f. d. lfd. m Tunnel, wozu noch 30 bis 35 qm Verladung und 0,5 bis 0,6 cbm Holz für Längs- und Querverspannung der Lehrbögen zu rechnen sind.

Nach Vollendung der Zimmerung wurden vorerst die Widerlager und die Lehrbogenmauern ausgeführt, hierauf die Lehrbögen aufgestellt und diese außerdem auf den Böcken der Zimmerung nach und nach abgestützt, sodann wurde das Gewölbe geschlossen.

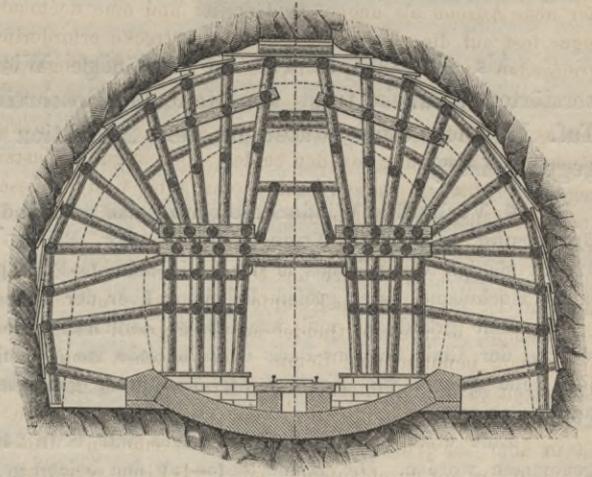
Der Raum zwischen den Böcken, rechts und links vom Gleise, wurde wieder mit Steinen trocken ausgepackt (Fig. 267) und dieser Einbau samt Lehrbögen erst nach Vollendung der Erneuerung, ein Teil im Juli, der Rest im August 1881 entfernt. Das nun bloßgelegte Mauerwerk zeigte keinerlei Beschädigungen. Der Tunnelkanal blieb mit Ausnahme eines kurzen Stückes, das erneuert werden mußte, bestehen.

Das im November 1881 vollends aufgedeckte Sohlengewölbe der ersten Konstruktion zeigte nur geringe, leicht zu verbessernde Beschädigungen. Um es vor Durchnässung zu schützen, gab man ihm eine von der Kanalmauer bis an den Kämpfer des Sohlengewölbes reichende, 0,15 bis 0,2 m starke Betondecke.

Während der Ausbesserungsarbeiten mußte die gesamte Förderung für den Gotthard-Tunnel durch die Druckstrecke geleitet werden, wodurch die Arbeiten beeinträchtigt und verlangsamt wurden. Die Erneuerung eines 4,0 m langen Ringes erforderte 2 bis 2½ Monate, nur in einem Falle etwas mehr. Nachträglich mußte noch ein 6 m langer Mauerungsring am Südende der Druckstrecke erneuert werden.

Da an der wiederhergestellten Strecke bis jetzt noch keinerlei Anzeichen einer Verdrückung hervorgetreten sind, so ist die zweite Erneuerung als gelungen zu bezeichnen und es ist mit Sicherheit anzunehmen, daß das Mauerwerk auch fernerhin standhalten wird.

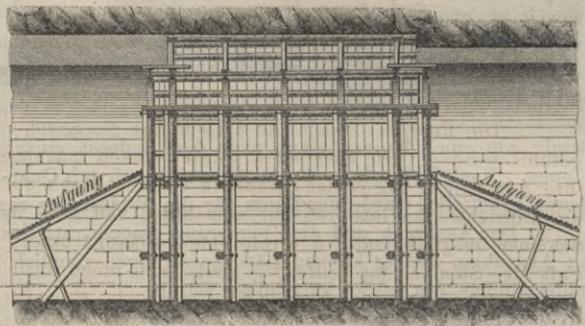
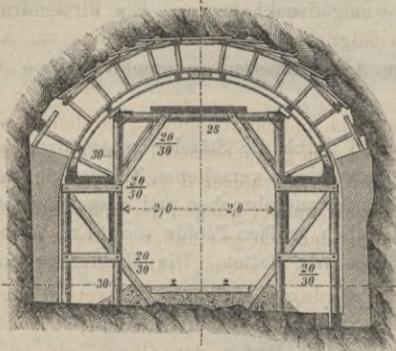
Fig. 269. Schnitt C D.



3. Erneuerung der Tunnelmauerung während des Eisenbahnbetriebes. Als Beispiel für die Erneuerung eines Tunnelmauerwerks, während die durch den Tunnel führende Eisenbahn im Betriebe ist, entnehmen wir derselben Quelle die Darstellung der Erneuerung zweier Mauerwerksringe in der mittleren Druckstrecke des Gotthard-Tunnels, 7500 m vom Nordportal entfernt, die sich erst nach der Betriebseröffnung des Tunnels als notwendig erwies. Da das Gleis auf dieser Strecke in der Tunnelmitte liegt, so konnte die Wiederherstellung mit Hilfe der aus Fig. 270 u. 271 ersichtlichen Gerüste, die in 5 Tagen aufgestellt wurden, in der Zeit von 15 Tagen (7 Tage Ausbruch, 8 Tage Ausmauerung) für jeden Ring ohne Betriebsstörung durchgeführt werden.

Fig. 270.

Fig. 271.



Als ein Beispiel für die vorläufige Wiederherstellung eines durch Sprengung zerstörten Tunnels folgt nachstehende Beschreibung, die nebst den Zeichnungen auf Taf. X nach einer Mitteilung der 2. Sektion der Feldeisenbahnabteilung IV wiedergegeben ist.<sup>92)</sup>

4. Vorläufige Wiederherstellung des während des deutsch-französischen Krieges durch Sprengung zerstörten Tunnels bei Vierzy, Fig. 15 bis 19, Taf. X. Der Tunnel bei Vierzy ist 12 km südlich von Soissons in der Linie Soissons-Paris gelegen; er durchsetzt bei 1400 m Länge eine flache Hochebene, deren größte Erhebung über der Tunnelfirst etwa 35 m betragen mag.

Eine gründliche und nachhaltige Zerstörung dieses Bauwerks erschwerte die Wiederinbetriebsetzung der Linie Soissons-Paris deutscherseits um so mehr, als eine Umgebungsbahn, wie sie schließlich beim Tunnel von Nanteuil zur Ausführung gelangte, der steilen Abhänge wegen hier nahezu un- ausführbar war.

Eine erste Sprengung des Tunnels war etwa 240 m vom nördlichen Mundloche entfernt vorgenommen worden. Die Minen waren an den beiden gegenüberliegenden Widerlagern und zwar etwa 1 m über Schienenoberkante angelegt; diese tiefe Lage der Minen hatte jedoch zur Folge gehabt, daß nur Teile der Widerlagsmauern in Form von Stüchappen herausgeschlagen wurden, während die Gewölbefirst unversehrt blieb; auch das lichte Profil des Tunnels war nur auf etwa zwei Drittel von den Sprengmassen ausgefüllt worden, sodaß ein Verkehr über diese Bruchstelle hinweg leicht ausführbar war. Mit diesem Erfolge nicht zufrieden, hatte man demnächst eine neue Sprengung weiter nach dem nördlichen Mundloche zu, und zwar etwa 150 m davon entfernt, ausgeführt. Die Minen waren hier in größerer Höhe angelegt worden; die Wirkung war demnach auch vollständig gewesen, die Tunnelfirst wurde auf etwa 20 m Länge zertrümmert, das Profil durch die Sturzmassen vollständig und das Hangende bis weit über die First hinaus zertrümmert oder gelockert. Endlich, nach dem Gelingen dieser Sprengung, war versucht worden, noch eine dritte, näher dem südlichen Mundloche des Tunnels, zur Ausführung zu bringen; die Arbeiter waren aber, ohne weit vorgeschritten zu sein, durch preussische Plänkler vertrieben worden.

<sup>92)</sup> Deutsche Bauz. 1871, S. 90 bis 92.

Die am 9. Okt. 1870 begonnenen Wiederherstellungsarbeiten hatten sich demnach auf 2 Bruchstellen zu beziehen, die südliche, hinsichtlich der Sprengung nicht vollständig gelungene, und die weiter nördlich gelegene.

Es muß vorausgeschickt werden, dafs, um schnell zum Ziele zu gelangen, es nur möglich war, einen eingleisigen Tunnelbetrieb herzustellen. Das zweite Gleis wurde benutzt, um die nicht unbeträchtlichen Sturzmassen aufzunehmen, die sonst nach der Südseite hin auf 1500 m Entfernung hätten bewegt und abgestürzt werden müssen und zwar bei vollständigem Mangel an Lokomotiven und Förderwagen.

Die Zimmerung des südlichen Bruches ist aus Fig. 16 u. 17, Taf. X zu ersehen. Es war hier, wie schon angedeutet, die Wirkung der Minen unvollständig gewesen, sodaß die Gewölbefirst unversehrt blieb. Die herausgeschlagenen Teile der Widerlager (vergl. die punktiert angegebenen Begrenzungen im Längenschnitt Fig. 17) hatten in der Tunnelsohle nur etwa 10 m Länge. Es liefs sich demnach annehmen, dafs, wie bei einer in die Widerlager eines Tonnengewölbes eingesetzten Stichkappe, der stehengebliebene Teil der Gewölbefirst seinen Druck auf die Widerlager noch mit Sicherheit würde übertragen können. Zudem muß angeführt werden, dafs das Gebirge, aus festem Kalkmergel bestehend, soweit es eben nicht durch die Sprengung gelockert worden, wenig druckhaft war. Ein Firstendruck war demnach nicht zu erwarten, und es war genügend, eine möglichst einfache Zimmerung zur Anwendung zu bringen, nur dazu bestimmt, den Seitendruck der Absturzmassen aufzunehmen, eine Art Stollenzimmerung in gröfserem Mafsstabe.

Die Figuren lassen das System fast genügend erkennen, doch mögen folgende Einzelheiten angeführt werden. Die Stempel *a* wurden soweit eingelassen, dafs sie den gewachsenen Felsen erreichten; ihre Aussteifung gegen den Erddruck erfolgte durch obere und untere Querhölzer *d* und *b*. Da jedoch das Einziehen der letzteren nur allmählich, und zwar mit Beseitigung ganzer Längen der ursprünglichen Schienen möglich war, so wurde eine vorläufige untere Aussteifung dadurch geschaffen, dafs man den Fuß der Stempel auf keilförmig stark nach innen ansteigende Schwellen *k* setzte, während gleichzeitig der Kopf der Stempel mittels Keilen gegen das Gewölbe gestützt wurde. Die unteren Querversteifungen *b* wurden etwa 3 cm unter die Bahnschwellen versenkt, um sie von den Erschütterungen des Gleises zu befreien. Bei eintretendem starken Erddruck konnten indessen die Enden der Querhölzer leicht von den Stempeln abweichen, es wurden deshalb noch hochkantig gestellte, stark überkämmt Längshölzer *c* über diese gelegt, die jede Bewegung nach der Längsaxe verhinderten. Ähnliche Bedeutung haben die Kopfbänder für die oberen Querverbindungen *d* und die Stempel *a*; diese Kopfbänder, in Gemeinschaft mit den an ihrem Kopf- und Fußende angebrachten, aus Bohlen bestehenden Längsversteifungen, verhindern ein Ausbiegen der Querverbindungen, wie es bei stärker werdendem Drucke leicht eintreten konnte, und steifen überdies die Stempel selbst aus. Schliefslich sind die Längsverbindungen nahe am Kopf- und Fußende der Stempel als Teile der Konstruktion anzuführen.

Beim Einbringen der einzelnen Baue wurde darauf gehalten, die Erd- und Steinmassen möglichst wenig in Bewegung geraten zu lassen. Es wurden deshalb die Sturzmassen nur jedesmal soweit entfernt, als zum Einsetzen eines neuen Stempels unumgänglich nötig war; erst nachdem die Verpfählung, aus 5 bis 6 cm starken Bohlen bestehend, getriebeartig eingebracht und seitlich wiederum abgesteift war, erfolgte die weitere Aufräumung des Profils.

Indem man sich gleichzeitig beeilte, die hohlen Räume hinter der Verpfählung mit Faschinen auszupacken, wodurch namentlich die Schlagwirkung gröfserer Steinmassen (es kamen an 2 1/2 Tonnen schwere Blöcke in dem Gerölle vor) von der Zimmerung abgehalten wurde, erreichte man die Vollendung des Baues ohne jeden Zwischenfall, und ohne dafs sich ein übermäfsiger Seitendruck auf die Zimmerung äufserte. Das Querprofil Fig. 16 ist übrigens näher dem Ende der Bruchstelle gedacht und zeigt nicht die ganze Ausdehnung der Höhlung rechts; durch eine punktierte Linie ist aber die gröfste Höhe der Sturzmasse in der Mitte bezeichnet.

Bezüglich der lichten Höhe des Baues von nur 4,40 m über Schienenoberkante ist anzuführen, dafs die Maschinen der französischen Ostbahn im allgemeinen eine gröfsere Höhe nicht haben und auch viele Wegeüberführungen nur mit dieser Höhe angelegt sind. Die auf diesen Strecken benutzten deutschen Maschinen mußten deshalb an ihren Schornsteinen entsprechend gekürzt werden.

Beim Auffahren des zweiten Bruches, die Hauptarbeitsstelle, kam ein weit stärkerer und mehr der bergmännischen Zimmerung sich anschließender Ausbau zur Anwendung, da hier einem bedeutenden Firstendrucke begegnet werden mußte, während andererseits ein erheblicher Seitendruck nicht zu erwarten war. Fig. 18 u. 19, Taf. X stellen die fertige Zimmerung dar.

Die Arbeit begann mit dem Durchtreiben eines Firststollens, der in gewöhnlicher Weise ausgebaut wurde und dessen Kappen *k* im Querprofile Fig. 18 noch bemerkbar sind. Besondere Aufmerk-

samkeit erforderten jedoch die Stollenanfänge. Bei der steilen Schichtung der großen Geröllemassen wäre ein unmittelbares Ansetzen der Stollen unmöglich gewesen. Es mußten deshalb nach Fig. 15 zuvörderst starke Hilfsschwellen *s* gelegt werden, die mit ihren Enden in das Mauerwerk eingebüht und durch kräftige Stützen *t* gehalten wurden. Gegen diese Schwellen erhielten die Stollenanfänge ihre Absteifung. Endlich wurde (wie durch Schraffierung in Fig. 15 angedeutet) dem Fusse der Geröllemassen durch eine Verschüttung so lange ein Halt geboten, bis die First vollständig verbaut war.

Nach Beendigung des Firststollens wurden die Kronenbalken *x*, aus durchschnittlich 60 cm starken Rundhölzern bestehend, vorläufig eingezogen und abgestempelt. Es erfolgte hiernach die Aufräumung der Bogenorte und das Einlegen der Wandruten *y*, womit die vollständige Verpfählung der First, sowie das Auspacken aller hohlen Räume durch Faschinen Hand in Hand ging.

Ihre endgiltige Abstützung erhielten die Kronenbalken und Wandruten durch die Kappenhölzer *d*, die mit ihren Enden in die Widerlagsmauern, soweit diese noch gesund waren, eingebüht wurden. Nachdem die First soweit gesichert, erfolgte das Einziehen der Stempel *a*, sowie das Einbringen der Verpfählung und demnächst endlich die vollständige Aufräumung des lichten Profils. Schliesslich erfolgte eine nochmalige Absprengung der Kronenbalken und Kappenenden durch die von den Hilfstempeln *b* getragenen Längsbalken *c* und die Anbringung der Spreizen *f*, die den Horizontalschub auf feste Teile des Mauerwerks übertrugen.

Die Übergabe des Baues an den Betrieb fand am 18. November 1870 statt; es war damit die erste durchgehende Schienenverbindung zwischen dem Mutterlande und der Belagerungsarmee vor Paris hergestellt. Die Konstruktion hat sich bewährt und zu keinerlei Nacharbeiten Veranlassung gegeben.

## Litteratur,

### Tunnelbrüche betreffend.

- Rziha, Fr. Der Sohlenauftrieb im Czernitzer Tunnel. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1857.
- Simon. Bau, Einsturz und Wiederherstellung des Tunnels bei Czernitz. Zeitschr. f. Bauw. 1860, S. 351.
- Rziha. Über den Bruch im Welschenennester Tunnel. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1860.
- Pressel u. Kauffmann. Der Bau des Hauenstein-Tunnels. Basel und Biel 1860.
- Rziha. Studien über Einstürze (Brüche) bei Tunnelbauten. Civ.-Ing. 1866, S. 269.
- Simon. Die Ausführung des großen Tunnels bei Altenbeken. Zeitschr. f. Bauw. 1868, S. 251.
- Die Bauanlagen der Köln-Giesener Eisenbahn und der Zweigbahn von Betzdorf nach Siegen. 1868. (Nicht im Buchhandel.) S. 43 ff. Tunnel bei Hoppengarten, bei Mauel und bei Stadte.
- Rziha. Mitteilung über die Rekonstruktion von Tunneln auf der Brenner-Bahn. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1869, S. 10; vergl. Deutsche Bauz. 1869, S. 96.
- Wiederherstellung des Tunnels bei Vierzy. Deutsche Bauz. 1871, S. 92.
- Die Wiederaufbau-Arbeiten des gesprengten Tunnels bei Nanteuil. Zeitschr. d. bayer. Arch.- u. Ing.-Ver. 1871, S. 92.
- Wiederherstellung der gesprengten Tunnel auf der Eisenbahnlinie Weissenburg-Straßburg-Paris. Zeitschr. f. prakt. Bauk. 1871, S. 7.
- Lanino. Galleria della traversata dell' Appennino nella linea Foggia-Napoli. Roma 1875.
- Über die Rekonstruktion und Erweiterung des Cork-Run-Tunnels, Pittsburgh-Cincinnati-St. Louis-Eisenb. Journ. of the Americ. soc. of civil-engineers 1877, Jan.
- Doppler. Rekonstruktion des Mühlthaler Tunnels an der Bremer-Bahn. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1878, S. 29.
- Rampacher. Ein Tagebruch beim Bau des Dettenberg-Tunnels. Eisenbahn 1878, S. 145.
- Könyves-Tóth. Über Tunnelbau im allgemeinen und über die Ursache der Deformationen bei Tunnelmauerungen u. s. w. Zürich 1880.
- Gelbeke, F. Bewältigung des Gebirgsdruckes im Gotthard-Tunnel. Deutsche Bauz. 1880, S. 285.
- Dolezalek. Der Ausbau des Gotthard-Tunnels. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1882, Heft 2—4.
- Könyves-Tóth. Über die Wiederherstellung des eingestürzten zehnten Ringes im Tunnel zu Csörtanovce, Linie Budapest-Semlin. Zeitschr. des österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1884, S. 47.
- Beschädigungen an einem Tunnel der Untergrundbahn zwischen Kings-Cross and Gower-Street, London. Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 7.
- Verdrückungen im Tunnel von Ronco auf der Hilfslinie der Giovi-Bahn. Schweiz. Bauz. 1887, I. S. 100.
- Einsturz des Eisenbahntunnels bei Alliance (Ohio). Railroad gazette 1892, S. 416.
- Einsturz des Tunnelfirstgewölbes auf der Pittsburgh-St. Louis-Eisenbahn. Railroad gazette 1892, S. 416 u. 506.

- Brand der Auszimmerung des Coosa-Tunnels auf der Columbus- und Western-Bahn bei Birmingham (Alabama).  
Railroad gazette 1892, S. 416 u. 563.
- Abbruch eines Eisenbahntunnels. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1892, S. 236.
- Ausbesserung und Verstärkung der durch Erdstürzungen gefährdeten Tunnel der Bahn von Lons le Saunier nach Champagne. Ann. des ponts et chaussées 1893, VI. S. 573.
- Erweiterung einer Tunnelanlage in Boston. Engng. news 1894, II. S. 460. — Engng. record 1894, Bd. 31, S. 26.
- Teilweise Wiederherstellung des Eisenbahntunnels von Terrenoire. Revue générale des chemins de fer 1894, I. S. 249.
- Der Einbruch des St. Catherinen-Tunnels zu Guildford auf der London- and South Western-Eisenbahn. Engineer 1895, I. S. 266; Engng. record 1895, April, S. 344.
- Wassereinbruch in den mit Druckwasserschicht unter dem Yarra vorgetriebenen Tunnel zu Melbourne. Engng. news 1895, II. S. 43; Engng. record 1895, Juli, S. 128, 132, 164 u. 169.
- Lernet, A. Krankheiten der Lehen-Tunnel. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1896, S. 198.
- Fahrarmachung zerstörter Tunnel durch die deutschen Feldeisenbahn-Abteilungen im Kriege 1870/71. Centralbl. d. Bauverw. 1896, S. 81 u. 101.
- Brand des Bozemann- oder Muir-Tunnels der Northern Pacific Railway. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1896, S. 77.
- Sicherung einer in Bewegung geratenen Tunnelmündung in Kalifornien. Engng. record 1898, Bd. 37, S. 361.
- Bauchal. Ausbesserung der Tunnel auf der Strecke Paris-Havre. Revue générale des chemins de fer 1898, S. 423; Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1898, S. 655.
- Whorley, W. H. Ausbesserung eines Tunnels der Western and Atlantic-Eisenbahn. Engng. news 1899, I. S. 60.
- Tunneleinbruch bei Vougeaucourt auf der Linie Paris-Belfort-Basel. Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1898, S. 1437.
- Einsturz des Monte Credo-Tunnels zwischen Genf und Bellegarde. Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1900, S. 44 u. 88.
- Watson. Instandhaltung der Eisenbahntunnel. Proc. of the inst. of civ. eng. 1900, Bd. 140, S. 180.
- Frahm. Dichtungsarbeiten im Coudray-Tunnel der französischen Nordbahn. Centralbl. d. Bauverw. 1900, S. 462; vergl. auch: Génie civil 1901, Bd. 38, S. 193; Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1901, Heft 4, S. 83.

## Dritter Abschnitt.

**Hilfsanlagen und Vorarbeiten für die Ausführung von Tunnelbauten.**

## I. Lüftung.

**§ 104. Bedürfnis der Lüftung.** Die Luft in einem unterirdischen Baue wird durch Entziehung von Sauerstoff und die gleichzeitige Zuführung schädlicher Gase, namentlich der Kohlensäure, wie sie das Atmen und Ausdünsten der darin arbeitenden Menschen und Tiere, das Brennen der Grubenlichter, ferner die Gasentwicklung bei etwaiger Sprengarbeit, die Raumentwicklung von Baulokomotiven, die Zersetzung des Gesteins, das Vermodern des Holzes u. s. w. verursachen, bald in einen dem menschlichen und tierischen Organismus nachteiligen, ja unter Umständen gefährlichen Zustand versetzt, sofern nicht für genügende Lüftung gesorgt ist.

Man ist nun zwar imstande, der Luftverderbnis in gewissem Mafse entgegen zu wirken, einmal durch Wahl solcher Sprengstoffe, die verhältnismäßig wenig giftige Gase entwickeln, durch Verwendung von Lokomotiven, deren Betriebskraft Elektrizität oder Prefsluft bildet, oder solcher mit so hoher Dampfspannung, daß auf eine Befuerung während des Aufenthaltes im Tunnel verzichtet werden kann; durch möglichst weitgehende Verwendung des elektrischen Lichtes und thunlichste Einschränkung der Handbohrung, überhaupt der Menschenarbeit u. s. w. Immerhin bleiben noch eine Menge Quellen für die Verderbnis der Luft übrig, und somit wird die Notwendigkeit zur Verbesserung schlechter Luft — mit Ausnahme von ganz kurzen Tunneln — wohl immer sich aufdrängen.

Reine atmosphärische Luft enthält (dem Volumen nach) neben etwa 21 % Sauerstoff und 79 % Stickstoff nur 0,04 % Kohlensäure. Bei einem Gehalt von 0,3 % an Kohlensäure und anderen gleich schädlichen Gasen, welche die Verbrennung der Sprengstoffe erzeugt, ist die Luft nach Beobachtungen in englischen Bergwerken (von Dr. Angus Smith) schon als verdorben, bei einem Gehalt von 0,5 % für längeres Verweilen als gefährlich anzusehen. Dieser Zustand verdorbener Luft — „matte“ oder „schlechte Wetter“ nach bergmännischer Bezeichnung — macht sich bemerklich durch trübes und qualmiges Brennen des Grubenlichtes, verursacht Atmungsbeschwerden, Gesichtsschmerzen und macht die Arbeiter bei längerem Aufenthalt in solcher Luft arbeitsunfähig.

Noch gefährlicher, weil plötzlich wirkend, sind die sogenannten „bösen“ oder „giftigen“, endlich die sogenannten „schlagenden Wetter“, die sich in den engen und vielverzweigten Gängen der Bergwerke nicht selten als unheimliche Gäste einfinden, dagegen beim Tunnelbau wegen der immerhin größeren, besser zugänglichen und einfacher gestalteten unterirdischen Räume, in Verbindung mit einem regeren Arbeitsbetriebe und einer kürzeren Bauzeit, nur äußerst selten vorkommen.

Zu den „bösen“ oder „giftigen Wettern“ gehören namentlich die sogenannten „Schwaden“. Sie bestehen entweder aus reiner oder mit wenig Luft gemischter Kohlensäure und entwickeln sich durch Zersetzung des Gesteins, namentlich im Braunkohlengebirge, bisweilen in größerer Menge. In solchen Fällen lagert sich die Kohlensäure wegen ihres größeren spezifischen Gewichtes bei ruhiger Luft als gesonderte Schicht auf die Sohle des Baues. Reine Kohlensäure wirkt absolut tödlich, aber schon 8

bis 10% als Beimengung der Luft machen das Atmen unmöglich. Bei 8% erlöschen auch die Grubenlichter, während sie bei 5% nur noch schwach glimmen.

Zu den „giftigen Wetter“ gehören ferner das Kohlenoxydgas und das Schwefelwasserstoffgas. Jenes bildet sich vorwiegend bei Grubenbränden, dieses in kleinen Mengen schon bei der Sprengarbeit, hauptsächlich aber durch Zersetzung des Gesteins und kommt daher nicht selten an alten Bauen vor. Das Vorhandensein von 1% Kohlenoxydgas oder  $\frac{1}{4}$ % Schwefelwasserstoff in der Luft soll schon tödlich wirken.

Die „schlagenden Wetter“ werden durch ein gewisses Kohlenwasserstoffgas gebildet, das den Namen „Grubengas“ führt. Zwei Teile davon enthalten in verdichteter Gestalt vier Teile Wasserstoff und einen Teil Kohlenstoff. Es tritt namentlich in Steinkohlengruben auf, kommt aber auch in anderen Gebirgsarten vor. Das Grubengas hat ein spezifisches Gewicht von 0,56 und hält sich infolge dessen, so lange es sich nicht mit der Luft gemischt hat, an der Firste der Strecken auf. Rein verbrennt es ohne Explosion mit blauer Flamme; mit atmosphärischer Luft im Verhältnis von 1 zu 5 bis 1 zu 12 gemischt, explodiert es bei Berührung mit einer Flamme ähnlich wie Knallgas in heftiger Weise. Ein Mittel, um das Vorhandensein und die verhältnismäßige Menge des Grubengases in der Luft an dem Verhalten einer Flamme im voraus zu erkennen, bietet die Davy'sche Sicherheitslampe. Sie gewährt bis zu gewissem Grade einen Schutz gegen die Gefahr und ist in der eigentlichen Heimat des Grubengases, den Steinkohlenbergwerken, zu einem unentbehrlichen Hilfsmittel geworden.

Bei langen Tunneln, die von größeren Gebirgshöhen überlagert sind, macht die große Erdwärme das Bedürfnis nach Zuführung nicht nur frischer, sondern auch kühler Luft gebieterisch geltend. In der nachstehenden Tabelle findet sich für verschiedene lange Tunnel die größte Gesteinswärme angegeben. Die Luftwärme ist aber noch um mehrere Grade höher wegen der Erhitzung der Luft durch die Lampen, die Sprenggase und durch die Ausdünstung von Menschen. So erreichte am Gotthard-Tunnel die Luftwärme eine Höhe von 35 Grad Celsius.

Tabelle XXI. Größte Gesteinswärme in verschiedenen Tunneln.

	Mont Cenis	Gotthard	Arlberg	Simplon
Tunnellänge . . . . . m	12849	14944	10240	19770
Höhe des einen Mundlochs . . . . . m	1148	1109	1302	687
Höhe des anderen Mundlochs . . . . . m	1269	1145	1218	634
Scheitelhöhe im Tunnel . . . . . m	1295	1155	1310	705
Größte Gebirgshöhe über dem Tunnel . . . . . m	2949	2861	2030	2840
Größte Überlagerungshöhe . . . . . m	1654	1706	720	2135
Größte Gesteinswärme . . . . . ° Cels.	29,5	30,8	18,5	40

voraussichtl.

Die Menge der erforderlichen frischen Luft, die in einen Tunnel geführt werden muß, um den verbrauchten Sauerstoff zu ersetzen bzw. die entwickelten schädlichen Gase so weit zu verdünnen, daß sie auf die Gesundheit der Arbeiter nicht mehr nachteilig einwirken, ist nach den oben angeführten Ursachen der Luftverschlechterung im wesentlichen abhängig: von der Zahl der im Tunnel beschäftigten Menschen und Tiere und der für diese nötigen Grubenlichter, sowie von der Menge und Art der etwa im Tunnel zur Explosion gebrachten Sprengmittel. Die Erfahrungszahlen zur Berechnung des Luftbedarfs werden verschieden angegeben. Für Tunnelbauten, bei denen die natürliche aerostatische Lüftung immerhin noch einige Wirkung übt, wo namentlich die bei Bergwerken schwer wiegende Zersetzung des Gesteins und das Vermodern des Holzes wegen der kurzen Bauzeit nicht in Betracht kommt, scheinen die nachstehend aufgeführten Rechnungswerte reichlich bemessen zu sein:

1 Arbeiter nebst Grubenlampe erfordert während der Zeit von 24 Stunden eine Zuführung frischer Luft von . . . . .	240 cbm
1 Pferd (das 3 bis 4fache des Bedarfs für einen Menschen)	850 „
1 kg verbrauchtes Schwarzpulver . . . . .	200 „
1 kg verbrauchtes Dynamit . . . . .	300 „

Beim Gotthard-Tunnel wurden in der Sekunde 1,5 cbm Luft zugeführt; beim Arlberg-Tunnel hatte man zuerst 3 und zuletzt 6 cbm/Sek., die sich dort als völlig ausreichend erwiesen. Für den Simplon-Tunnel hat man eine Luftzuführung von 50 cbm/Sek. in Aussicht genommen.

Im allgemeinen sei bemerkt, daß es nicht nur aus Rücksichten für die Gesundheit der Arbeiter, sondern auch für den rascheren und billigeren Arbeitsfortgang zu empfehlen ist, stets für eine gute Luft an den Arbeitsstellen Sorge zu tragen, da die Arbeiter in schlechter Luft auf die Dauer weniger leisten können.

### § 105. Die Mittel zur Lüftung.

1. **Natürliche Lüftung.** Wenn Luftschichten von verschiedener Dichtigkeit miteinander in Berührung kommen, so gleichen sie sich aus, d. h. sie vermischen sich, bis eine mittlere Dichtigkeit erreicht ist. Dadurch entsteht ein Luftwechsel; es wird daher ein solcher schon auf natürlichem Wege in einem unterirdischen Raume, der mit der atmosphärischen Luft in Verbindung steht, stattfinden, wenn die Wärme der Luft innen höher oder niedriger, diese also leichter oder schwerer ist, als außen.

Die Luftwärme in einem unterirdischen Baue ist ohne natürlichen Luftdurchzug unveränderlich und von der Jahreszeit unabhängig. Sie übertrifft die örtliche Erdwärme um ein Geringes, was, wie in § 104 ausgeführt, durch die brennenden Lichter u. s. w. veranlaßt wird. Die Erdwärme entspricht nahe der Oberfläche der mittleren Jahrestemperatur und nimmt mit der Tiefe unter der Erdoberfläche zu und zwar an Orten, die nur wenig höher als der Meeresspiegel liegen, auf etwa 35 m Tiefe um 1° C. Im hohen Gebirge ist diese Wärmezunahme von der Erdoberfläche ab geringer. Sie ergibt sich aus der in § 104 aufgeführten Tabelle zu etwa 1,8° C. für 100 m senkrechte Tiefe, d. h. die Erdwärme nimmt auf etwa 56 m Tiefe um 1° C. zu.<sup>93)</sup>

Die mittlere Jahreswärme beträgt für Norddeutschland (Berlin) + 8,6° C. In einem Tunnel, der 40 bis 50 m unter der Erdoberfläche liegt, hat demnach die Luft eine Temperatur von rund 10°. Die mittlere Wintertemperatur beträgt — 0,7 bis + 0,8°, die Frühlingswärme + 8,0 bis + 8,4°, die Sommerwärme + 17,3 bis + 17,6°, die Herbsttemperatur + 8,8 bis + 9,12°. Im Winter und Sommer wird daher schon in einem Stollen bezw. Tunnel oder Schacht, die nur an einem Ende mit der atmosphärischen Luft in Verbindung stehen, ein Luftwechsel (bergmännisch „Wetterzug“) stattfinden, der um so lebhafter ist, je größer die Temperaturunterschiede zwischen innen und außen sind.

In einem Schachte sinkt zur Winterzeit die äußere, kältere Luft an den Wänden nieder, während die innere, wärmere Luft in der Mitte aufsteigt. In einem Stollen

<sup>93)</sup> Man vergleiche: Die Ausführbarkeit von Hochgebirgs-Tunneln mit Rücksicht auf den Einfluß der Erdwärme. Eisenbahn 1879, S. 75. — Stapff. Über den Einfluß der Erdwärme bei Tunnelbauten. Leipziger Archiv für Anatomie und Physiologie 1880; Eisenbahn 1880, S. 93. — Temperaturbeobachtungen im Gotthard-Tunnel. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 298 u. a. — Die großen Alpentunnel und die unterirdische Wärme. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1884, S. 712; Annalen f. Gew. u. Bauw. 1884, S. 156. — Die Frage der Wärmezunahme in unterirdischen Räumen. Polyt. Journ. 1885, Bd. 255, S. 449.

zieht zur Winterzeit die äufere, kältere Luft auf der Sohle ein, an der Firste entweicht der ausfließende, wärmere Luftstrom. Im Sommer ziehen die Luftströme im Schacht sowohl, als auch im Stollen in umgekehrter Richtung.

Durch eine Trennung der beiden sich entgegengesetzt bewegenden Luftmassen kann der Wetterzug befördert werden. Diese Trennung läßt sich bei Schächten durch Einbauen und Verschalen der Schachtwänden erreichen; im Stollen durch Anlage eines genügend großen Wassergrabens, der dicht abgedeckt wird. Unter günstigen Temperaturverhältnissen und bei geringer Sprengarbeit kann hierdurch in einem Stollen bis auf 200 m Länge und in einem Schachte bis zu 40 m Tiefe ausreichender Luftwechsel hervorgerufen werden.

Wesentlich günstiger gestaltet sich die natürliche Lüftung in einem Stollen bzw. Tunnel, wenn dieser mit einem Schachte in Verbindung steht, also an zwei Punkten von verschiedener Höhenlage mit der atmosphärischen Luft verbunden ist. In solchem Falle wirkt auf die Stollenluft eine schiebende Kraft, die gleich ist dem Unterschiede der Gewichte der Luftsäule im Schachte und einer gleichen Säule äußerer Luft vor dem Stollenmundloche. Dabei wird im Winter, wegen der größeren Schwere der äußeren Luft, diese in den Stollen ein- und aus dem Schachte ausziehen, im Sommer wird dagegen die Luftströmung die umgekehrte Richtung annehmen. Zur Erreichung einer solchen natürlichen Lüftung führt man zuweilen besondere Schächte, sogenannte „Wetterschächte“, aus, die lediglich diesem Zwecke zu dienen haben. Statt der Wetterschächte hat man auch schon mit Vorteil Bohrlöcher von 20 bis 30 cm Durchmesser zur Beförderung des Luftwechsels im Stollen hergestellt.

Beim Bau des Schee-Tunnels, 714 m lang (Barmen-Hattingen), wurde im Jahre 1879 ein Stollen von 2,8 m Breite und 2,0 m Höhe mit einer Steigung von 1:250 in festem Sandstein mittels Sprengarbeit vorgetrieben, bei dem durch eine unter dem Fördergleise bis nahe vor Ort mitgeführte Wasser-rösche von  $\frac{40}{40}$  cm Querschnitt die natürliche Lüftung derart befördert wurde, daß bis auf eine Stollenlänge von 250 m andere Lüftungsmittel nicht erforderlich waren. In einer Entfernung von 250 m vom Mundloche stellte man dann einen Wetterschacht von 50 m Tiefe mit einem quadratischen Querschnitte von 1 m Weite her, von dem aus unter der Firste des Stollens bis vor Ort eine Luftleitung aus Zinkblech (20 cm Durchmesser) für den weiteren Stollenvortrieb geführt wurde. Der Schacht war in der First des Stollens um die Luftleitung herum dicht verschalt. Die vom Tage aus in den Stollen einziehende Luft konnte somit nicht unmittelbar in den Schacht gelangen, mußte vielmehr den Stollen bis vor Ort durchstreichen, wo sie von der Rohrleitung aufgenommen und dem Schachte zugeführt wurde. Bis zum Stollendurchschlage, der bei 450 m Länge des Stollens erfolgte, hat sich diese Einrichtung so gut bewährt, daß jede weitere Lüftung entbehrt werden konnte. Später wurde der Wetterschacht zur Förderung von Materialien in den Tunnel benutzt, da er zu Lüftungszwecken nicht mehr erforderlich war. — Der Schacht wurde von unten nach oben getrieben; die Herstellungskosten betragen einschließlic Sprengmaterial pro Meter 25 M.; die Rohrleitung kostete pro Meter 3 M.

In ähnlicher Weise wurde beim Schwelmer Tunnel (Düsseldorf-Hörde) ein für andere Zwecke angelegter Schacht zur Lüftung des Vollaubruchs benutzt. An Stelle einer Rohrleitung wurde hier vom Schachte aus über dem Sohlenstollen bis zum Vollaubruche ein Firststollen getrieben. Der Schachtquerschnitt war in der Firste des Sohlenstollens dicht verschalt, sodafs die von außen in den Stollen einströmende Luft erst den Vollaubruch passieren mußte, bevor sie durch den Firststollen aus dem Schacht ausziehen konnte.

Die natürliche Lüftung in einem Tunnel hört auf, wenn die Wärme der Luft innen und außen gleich ist, wie das häufig, namentlich in den Übergangszeiten im Herbst und Frühjahr, eintritt. Bei längeren Tunneln reicht die natürliche Lüftung überhaupt nicht aus, es müssen in solchen Fällen künstliche Mittel angewandt werden.

2. **Künstliche Lüftung.** Für die künstliche Lüftung eines Tunnels giebt es zweierlei Verfahren: das Aussaugen der verdorbenen Luft (Aspiration), wobei von außen frische Luft einströmt, und das Einpressen frischer Luft in den Tunnel (Pulsion), wobei die verdorbene Luft allmählich aus dem Tunnel verdrängt wird.

Das erstere Verfahren verdient grundsätzlich vor dem letzteren den Vorzug, namentlich in den Fällen der Anwendung von Sprengarbeit, obwohl die Durchführung in langen Tunneln auf Schwierigkeiten stößt (vergl. unten). Durch das unmittelbare Aufsaugen der Sprenggase am Orte ihrer Entstehung werden diese auf die schnellste Art aus dem ganzen Baue entfernt; während es bei der Anwendung des zweiten Verfahrens, des Einblasens frischer Luft vor Ort, unvermeidlich ist, daß die schädlichen Gase erst den ganzen Tunnel durchziehen und an anderen Arbeitsstellen noch weiter belästigen. Dazu kommt noch der praktische Vorteil, daß beim ersten Verfahren häufig einfachere Mittel verwandt werden können, als bei dem zweiten.

Bei beiden Arten ist es notwendig, daß der ausziehende Luftstrom von dem einziehenden getrennt wird. Dies geschieht durch Röhren aus Holz oder Blech, sogenannten „Lutten“, die von der äußeren Luft bis vor Ort, sowie mittels Abzweigungen an die etwa außerdem noch zu lüftenden einzelnen Arbeitsstellen geführt werden und einen, nämlich den unmittelbar erzeugten, Luftstrom aufnehmen.

Zum Einpressen der Luft sind stets besondere Gebläsemaschinen erforderlich; auch die Absaugung wird durch solche bewirkt, für diese stehen aber außerdem noch andere Mittel zu Gebote, die zunächst erörtert werden sollen.

a) Das Aussaugen der Luft kann auch erreicht werden: durch einfache Erwärmung der Luft oder durch ein Dampfstrahl-Blasrohr (Injektor).

α. **Erwärmung.** Man erwärmt (also verdünnt) den ausziehenden Luftstrom, indem man ihn z. B. dem Roste etwa vorhandener Kesselfeuerungen zuführt, oder indem man für diesen Zweck einen besonderen Wetterofen an dem Mundloche oder auf der Sohle eines Schachtes errichtet. Die Feuerungen über Tage ergeben nur eine geringe Wirkung und machen außerdem die Aufstellung einer besonderen Esse für den Wetterofen notwendig, wodurch die Einrichtung verteuert wird. Die Anlage eines Wetterofens wird man nur dann zweckmäßig über Tage einrichten, wenn es sich um nichts weiter als eine zeitweise Belebung der natürlichen Lüftung handelt und ein dauernder Betrieb überflüssig ist. In diesem Falle, der keine besonders hohe Esse erfordert, ist jene Anlage empfehlenswert, um der Feuersgefahr zu entgehen, die eine Ofenanlage im Tunnel selbst mit sich bringt. Für die Bedeutung dieser Gefahr liefert der Bau des Hauenstein-Tunnels ein erschütterndes Beispiel, indem dort ein durch einen Wetterofen verursachter Brand den Einsturz des Schachtes zur Folge hatte und zu einem entsetzlichen Unglück führte.<sup>94)</sup>

Ein Wetterofen unter Tage, durch den eine Luftsäule von der Höhe der ganzen Tiefe des Schachtes erwärmt wird, wirkt naturgemäß bedeutend günstiger. Solche Wetteröfen finden sich beim Bergbau, namentlich in England, in größerem Mafsstabe in Anwendung. Nach Serlo<sup>95)</sup> rechnet man dort auf eine Rostfläche von 1,9 m Breite und 1,9 bis 2,5 m Länge einen Luftwechsel von 1200 bis 1500 cbm in der Minute, wobei 2000 kg Kohlen in 24 Stunden verbraucht werden. 1 kg Kohle erzeugt daher einen Luftwechsel von 860 bis 1075 cbm, während die Leistung bei Wetteröfen über

<sup>94)</sup> Streckert. Über den Brand eines Tunnelschachtes. Zeitschr. f. Bauw. 1872, S. 134.

<sup>95)</sup> Serlo. Leitfaden zur Bergbaukunde. Berlin 1878.

Tage selbst bei Anwendung von Sehornsteinen von 40 m Höhe, nach Beobachtungen von Ponson, in vier Fällen durchschnittlich nur 155 cbm Luft für 1 kg Kohle betrug. Beim Bergbau werden die Wetterschächte ausgemauert, um die Gefahr der Entstehung eines Brandes durch die Wetteröfen unter Tage zu vermeiden. Eine derartige Sicherung ist für Tunnelbauten (wegen der kurzen Bauzeit) nicht anwendbar, es bleibt daher hier bei Benutzung gewöhnlicher ausgezimmerter Schächte die Feuergefahr bestehen. Eine zweckmäßige Art, diese zu umgehen, besteht in der bereits erwähnten Anordnung von Bohrlöchern, die vom Tage aus auf die Tunnelsohle niedergebracht und nach Bedarf mit Röhren aus Eisenblech ausgefüllt werden. Solche Bohrlöcher empfehlen sich schon deshalb, weil sie, wie weiter oben hervorgehoben, die natürliche Lüftung in einem Tunnel wesentlich erhöhen. Falls diese nicht mehr ausreicht, bieten sie sodann die Möglichkeit, ohne Gefahr einen Wetterofen im Tunnel aufzustellen, der im allgemeinen wegen seiner Einfachheit und seiner geringen Anlagekosten für einen Tunnelbau sich wohl empfiehlt. Beim Bau des Naenser Tunnels (Braunschweig-Holzmindener Bahn) leisteten solche Bohrlöcher schon bei der geringen Weite von 20 cm sehr gute Dienste.

β. Anwendung eines Dampfstrahl-Blasrohres. Hier wird ein Dampfstrahl in die den ausziehenden Luftstrom aufnehmende Luttenleitung eingeführt und dadurch die Luft nicht nur erwärmt, sondern auch mechanisch in erheblichen Mengen mit fortgerissen. Die Wirkung einer solchen Dampfstrahllüftung ist nicht sehr groß, nach Serlo liefert dabei 1 kg Kohle nur 177 cbm Luftwechsel. Es ist daher eine Vorrichtung dieser Art nur dann empfehlenswert, wenn sie zur Erzeugung des Dampfstrahles keiner besonderen mechanischen Anlage bedarf, d. h. wenn man den abziehenden Dampf bereits vorhandener Dampfmaschinen verwenden und dadurch, unter gleichzeitiger Benutzung der Kesselfeuerung zum Erwärmen der Luft, die Einrichtung einer anderweiten Lüftungsanlage entbehrlich machen kann.

Es mag hier noch bemerkt werden, daß bei langen Tunnelbauten die Sauglüftung sich als unzureichend erwiesen hat und auf bis jetzt ungelöste Schwierigkeiten gestossen ist. Sie leidet an dem Übelstande, daß der Druckunterschied, der den Luftstrom erzeugt, nicht wie bei der Drucklüftung beliebig gesteigert werden kann, sondern selbst bei der vollkommensten Einrichtung höchstens bis zu der Spannung einer Atmosphäre getrieben werden könnte. Es werden deshalb bei größerem Bedarf Rohrleitungen von so großen Durchmessern erforderlich, daß der dazu nötige Platz erst im fertigen Tunnel zu schaffen ist. Beim Gotthard-Tunnel, wo man eine vom Mont Cenis übernommene Absaugmaschine (zwei Glocken von 5 m Durchmesser und 2 m Höhe) über dem Nordportale aufgestellt hatte, die freilich den nur sehr geringen Druckunterschied von höchstens 2 m Wasserhöhe =  $\frac{1}{5}$  Atm. zu erzeugen imstande war, hatte man eine Zinkrohrleitung von 1,2 m Durchmesser in die fertige Tunnelstrecke eingebaut und zwar in der Firste des Gewölbes aufgehängt. Die Einrichtung ist jedoch nicht in Thätigkeit gesetzt, weil die Durchführung der großen Rohre sich als zu schwierig und die Wirkung sich zu gering erwies.

Aber noch ein zweiter Übelstand erschwert die Sauglüftung in langen, rasch zu bauenden Tunneln. Bei diesen ist es nicht immer durchführbar, jederzeit Zweigleitungen an alle Arbeitsstellen so nahe heranzuführen, daß alle Sprenggase unmittelbar dem Saugrohre zuströmen müßten. Ein Teil der schädlichen Gase kann erst durch Vermischen mit der von außen nachströmenden frischen Luft allmählich verschwinden. Bis dies zu einem Grade geschehen ist, der die Wiederaufnahme der Arbeit an den

betreffenden Arbeitsstellen gestattet, ist häufig eine lange Zeit erforderlich, wodurch sehr störende Arbeitsunterbrechungen entstehen. Diese sind allerdings auch bei Anwendung der Drucklüftung nicht ganz zu vermeiden, jedoch fallen sie bei dieser in der Regel kürzer aus, da durch das unmittelbare Zuführen frischer Luft an die Arbeitsstelle die Rauchwolken von ihr verdrängt werden, weshalb an dieser Stelle eine atembare Luft rascher erzeugt wird; allerdings können, wie oben hervorgehoben, die so verdrängten Sprenggase an anderer Stelle, wenn auch in etwas verdünntem Zustande, aufs neue belästigen.

Beim Bau des Kaiser Wilhelm-Tunnels bei Cochem hatte die Sauglüftung den Erfolg, daß die vom Mundloche nachströmende frische Luft den Rauch der etwa 1 km weit einfahrenden Lokomotive vor sich her einwärts in den Tunnel trieb und dadurch die Luft bis zur Aufsaugestelle gerade verschlechterte, statt sie zu verbessern. Man sah sich deshalb genötigt, den Ventilator (Root'sche Kapselräder) in entgegengesetzter Richtung gehen, also auf Druck arbeiten zu lassen und erzielte damit, unterstützt von der den Bohrmaschinen vor Ort entströmenden geprefsten Luft, vollständigen Erfolg. — Diese angeführten praktischen Nachteile der Sauglüftung haben die meisten Tunnelbauingenieure dahin geführt, sie für größere Ausführungen zu verwerfen.

b) Das Einpressen der Luft (die Pulsion) geschieht durch eigentliche Gebläsemaschinen („Wettersätze“, „Wettermaschinen“), die ebenso auch zur Bewirkung einer Absaugung, wie oben bemerkt, ein geeignetes Mittel bieten. Es giebt solcher Vorrichtungen eine große Anzahl; sie lassen sich einteilen in Kolbenmaschinen, Glockenmaschinen und sogenannte „Weterräder“ (Ventilatoren). Letztere sind für den Tunnelbau ihrer Einfachheit wegen die geeignetsten. Sie bestehen entweder aus einem runden Gehäuse mit linsenförmigem Querschnitt, in dem sich ein einzelnes Flügelrad befindet, oder aus zwei ineinandergreifenden, mit zwei Flügelrädern ausgerüsteten derartigen Gehäusen; durch eine Dampf- oder Wasserkraftmaschine werden die Flügelräder in rasche Umdrehung versetzt. Je nach der Anbringung der Luftleitung an den Druck- oder Saugansatz wirken die Weterräder drückend oder saugend. Die mechanische Lüftung hat gegenüber der Anwendung von Wetteröfen bei Schachttiefen bis zu 500 m (wie sie bei Tunnelbauten höchstens vorkommen) den Vorteil einer besseren Nutzleistung, dagegen ist ihre Anlage kostspieliger.

Kommen bei einem Tunnelbau Luftbohrmaschinen zur Anwendung, so genügt zur Lüftung in der Regel die zum Betriebe der Maschinen erforderliche Luft; nötigenfalls läßt man auch die Luft frei aus der Leitung austreten, namentlich nach dem Abfeuern der Schüsse, um die Rauchwolken rasch zu entfernen. Eine derartige Verwendung geprefster Luft zur Lüftung ohne Ausnutzung der ihr innewohnenden mechanischen Arbeit ist freilich stets mit einer Verschwendung dieser und der ihrer Erzeugung entsprechenden Kosten verbunden, kann indessen zur Ersparung einer besonderen Lüftungsleitung sich doch als vorteilhaft erweisen, ja in langen und sehr tief unter Tage zu erbauenden Tunneln zur gleichzeitigen Ermäßigung der hohen Temperatur (durch Ausdehnung der verdichteten Luft) notwendig werden.

Als sehr wirksames Hilfsmittel zur Lüftung in Tunneln mit Sprengarbeit hat sich fein verteiltes Wasser erwiesen. Der Ingenieur Brändt bringt zu diesem Zwecke an der Druckleitung für seine hydraulischen Bohrmaschinen ein Sieb an, aus dem das Wasser nach der Entladung der Schüsse als Staub austritt. Dieser Wasserstaub hat in hohem Grade die Eigenschaft, die Sprenggase und den Staub niederzuschlagen, sodafs nach kurzer Zeit der Arbeitsraum von Gasen und Staub frei wird. Beim Bau des

Ochsenkopf-Tunnels (Dittersbach-Glatz<sup>96)</sup>, in dem die Brandt'schen Maschinen angewandt wurden, zeigte sich dies Verfahren so wirksam, daß man es noch nach Beendigung der Maschinenbohrarbeit beibehielt, zu welchem Zwecke man die Rohrleitung mit einer gewöhnlichen Dampfmaschine in Verbindung brachte. Beim Arlberg-Tunnel wurde auf der Ostseite, wo die Bohrmaschinen mit Luft getrieben wurden, für diesen Zweck eine besondere Wasserleitung mit 12 Atmosphären Druck eingebaut. Für den in Rede stehenden Zweck haben die Gebr. Körting in Hannover recht zweckmäßige Mundstücke (Centrifugal-Streudüsen oder Zerstäuber) konstruiert. — Immerhin kann dieses Mittel nur zur raschen Beseitigung der lästigen Sprengdämpfe dienen, die Zuführung frischer Luft zur Herbeischaffung des zum Atmen erforderlichen Sauerstoffes darf dabei nicht verringert werden.

Von welcher Bedeutung die Lüftungsfrage beim Bau langer, von hohen Gebirgskämmen überlagerter Tunnel werden kann, zeigt das Beispiel des in der Ausführung begriffenen Simplon-Tunnels, bei dem eine Erdwärme von 40° C. auf eine Länge von etwa 10 km erwartet werden muß, die sich aus den oben angeführten Gründen noch um etwas erhöhen wird. In der Absicht, diese hohe Wärme zu vermeiden, hat man eine große Anzahl verschiedener Tunnellagen, die zum größten Teil auf eine Höherlegung des Tunnels hinausliefen, vorgeschlagen, sich jedoch wegen der anderweitigen großen Vorteile für den Bahnbetrieb schließlich entschlossen, die tiefere Lage des Tunnels beizubehalten. Dies konnte aber nur unter Anwendung ganz außergewöhnlicher, über das Bisherige weit hinausgehender Mittel geschehen. Diese bestehen im wesentlichen darin, daß man außer dem Sohlenstollen für den nächst herzustellenden eingleisigen Tunnel in 17 m Abstand von diesem einen zweiten parallel daneben liegenden Stollen gleichzeitig zur Ausführung bringt (s. Fig. 2, Taf. XI) und beide Stollen in Entfernung von je 200 m durch schräg geführte Querstellen miteinander verbindet. Dieser zweite Stollen soll gleichzeitig bei dem späteren Bau des für das zweite Gleis in Aussicht genommenen Parallelstollens als Sohlenstollen dienen. Außerdem bietet er der Förderung eine große Erleichterung (s. § 42).

Für die Luft-Zu- und Abführung dient nun der ganze Tunnelquerschnitt, und es wird die Luft hierbei gezwungen, den vollen Hin- und Rücklauf über die ganze im Bau befindliche Tunnellänge zu machen. Zu diesem Zwecke sind zunächst sämtliche Querstellen, mit Ausnahme des am weitesten vor Ort gelegenen, durch Thore geschlossen. Ebenso ist der westlich gelegene Parallelstollen an seiner Mündung ins Freie gleichfalls durch zwei Thore geschlossen, die aber soweit voneinander entfernt sind, daß zwischen ihnen ein Arbeitszug Platz finden kann. Es ist also auf diese Weise eine Art Luftschleuse gebildet. Die Luft tritt nun in den westlichen Parallelstollen ein, durchläuft diesen bis zum letzten, offenen Querstellen, tritt durch diesen in den östlichen Tunnelsohlenstollen und geht durch letzteren ins Freie zurück. Einen gleichen Weg sollen für gewöhnlich auch die Förderzüge und die Arbeiter nehmen. Da man in der Lage ist, bis 50 cbm/Sek. kühle Luft zuzuführen, so ist mit Sicherheit zu erwarten, daß eine genügende Abkühlung auch in den wärmsten Strecken erreicht werden wird. Bei dem lichten Stollenquerschnitt von 8 qm wird die Luftgeschwindigkeit etwa 6 m/Sek. betragen.

Von der unmittelbaren Luftdurchströmung sind jedoch die hintersten, jenseits des jeweilig letzten Querstellens gelegenen Stollenstrecken — also längstens 200 m — ausgeschlossen. Um diese Strecken genügend zu belüften, wird die aus dem luftdurchströmten Stollen entnommene Luft durch Wasserstrahlgebläse in 25 cm weiten Rohren bis vor Ort getrieben. Als Betriebskraft dieser Gebläse dient das für den Antrieb der Bohrmaschinen erforderliche Druckwasser von etwa 80 Atmosphären Spannung. Die Luft wird hierdurch gleichzeitig einer Abkühlung unterworfen; sollte diese aber noch nicht ausreichend sein, so soll die Luft vor ihrer Entnahme durch die Gebläse mittels Zerstäuben von Wasser vorgekühlt werden. Ob die hiermit verbundene Durchfeuchtung der Luft sich nicht als Nachteil geltend machen wird, da sich bekanntlich feuchte warme Luft besonders lästig macht, wird abzuwarten sein, jedoch hat schließlich die heutige Technik auch noch andere Mittel zur Verfügung, mit denen eine genügende Kühlung erreicht werden kann.

Die vorgeschriebene Lüftung ist jedoch zunächst nur auf der Südseite des Simplon-Tunnels zur Ausführung gekommen, es hat sich auch bis September 1899 die Zuführung einer nur geringen Luftmenge als erforderlich erwiesen, freilich ist der Stollen auf dieser Seite auch erst 1700 m tief in den Berg vorgetrieben.

<sup>96)</sup> Zeitschr. f. Bauw. 1880, S. 111.

Auf der Nordseite des Tunnels, wo die vorgetriebene Stollenlänge zur selben Zeit 2461 m betrug, ergab sich zunächst infolge günstiger örtlicher Verhältnisse die Möglichkeit, in der Nähe der Mündung des östlichen Richtstollens (s. Fig. 3, Taf. XI) und zwar 8 m seitwärts von diesem, einen 47 m hohen und 2,5 m weiten Schacht anzulegen, und mittels diesem die Luft aus dem Tunnel abzusaugen. Zu diesem Zweck sind sowohl der östliche Stollen, wie der an dieser Stelle bereits abgezweigte Tunnelrichtstollen mit Thoren abgeschlossen, wogegen die Luft in dem westlichen Parallelstollen frei eintreten kann. Zur Erhöhung des Luftzuges wird unterhalb des Schachtes ein lebhaftes Feuer unterhalten und ein kräftiger Luftzug erzielt, der sich bisher als vollständig ausreichend erwiesen hat. Sobald dies nicht mehr der Fall sein wird, soll auch auf der Nordseite die oben beschriebene Lüftungsweise zur Anwendung kommen.

Es mag hier noch auf die in neuerer Zeit beim Bergbau zur Verwendung kommenden Atmungsapparate hingewiesen werden, die den mit ihnen versehenen Arbeitern zum Einatmen Sauerstoff zuführen, der in gepresstem Zustande in den Apparaten mitgenommen wird. Ähnliche Apparate, die wie diese den Arbeitern die Möglichkeit bieten, in durch Gase verdorbener Luft zu arbeiten, sind unter dem Namen Respiratoren, Rauchmasken, Rettungsapparate u. s. w. schon seit vielen Jahren bekannt und in verschiedenen Fabrikbetrieben und beim Feuerlöschwesen in Verwendung, während sie im Bergbau nur vereinzelt zur Verwendung kamen. Mit der mächtigen Entwicklung des Kohlenbergbaues machte sich aber die Notwendigkeit, sich ihrer auch in diesem in ausgedehnterem Maße zu bedienen, immer dringender fühlbar. Man ersann Apparate, die besonders für Bergbauzwecke bei verschiedenen unvermeidlichen Arbeiten in giftigen Gasen und bei Rettungsarbeiten nach eingetretenen Schlagwetter- und Grubenbrand-Unglücksfällen bestimmt sind und die eine mehr oder weniger erfolgreiche Anwendung finden.

Der erste Apparat dieser Art, durch den dem Arbeiter Sauerstoff zugeführt wird, wurde von dem Professor Schwan in Lüttich schon im Jahre 1853 angegeben, aber erst 25 Jahre später gelegentlich einer Hygiene-Ausstellung in Brüssel weiteren Kreisen zugänglich gemacht. Schwan ging dabei von dem Grundsatz aus, daß derartige Apparate nur dann Aussicht auf Erfolg haben können, wenn sie es ermöglichen, die ausgeatmete Luft zum Einatmen wieder nutzbar zu machen. Der Mensch verbraucht nämlich nur einen geringen Teil (etwa 4%) des eingeatmeten Sauerstoffs, während er den ganzen übrigen Rest wieder ausatmet; wenn dieser verloren ginge, würde daher der Verlust an Sauerstoff bei der verhältnismäßig geringen Menge, die dem Arbeiter überhaupt mitgegeben werden kann, zu groß werden und der Apparat nicht für eine genügend lange Zeit gebrauchsfähig bleiben.

Diesem von Schwan aufgestellten Grundsatz ist denn auch bei allen späteren Konstruktionen Rechnung getragen worden. Unter diesen haben in den letzten 5 Jahren besonders der von Generaldirektor von Walcher in Teschen in Gemeinschaft mit Professor Dr. G. Gaertner, und Fabrikant G. Benda in Wien erfundene Apparat, „Pneumatophor“ genannt, ferner der von Bergrat Mayer und Fabrikant Neupert in Wien und in jüngster Zeit der von Branddirektor Giersberg in Berlin ersonnene Apparat Beachtung gefunden.

Bei diesen Apparaten wird der Sauerstoff mit einer Pressung von 60 bis 100 Atm. in Stahlflaschen von 0,6 bis 1,5 l Rauminhalt von dem Arbeiter auf dem Rücken getragen. Walcher-Gaertner-Benda und Mayer-Neupert verwenden dabei einen aus luftdichtem Stoff hergestellten Beutel, der dem Arbeiter auf der Brust hängt. Dieser Beutel steht durch einen Schlauch einerseits mit den Sauerstoffflaschen und andererseits mit dem Munde des Arbeiters in Verbindung, sodafs von letzterem der eintretende Sauerstoff aus dem Beutel eingeatmet werden kann. Auch das Ausatmen erfolgt in letzterem, der mit Ätzkali versehen ist, um durch dieses die ausgeatmete Kohlensäure zu binden und so die ausgeatmeten Gase mit dem frisch zufließenden Sauerstoff aufs Neue einatmen zu können.

Giersberg hat bei seinem durch die Sauerstoffabrik in Berlin angefertigten Apparate Schläuche und Beutel vermieden und diese durch Röhren und einen, aus einem festen Blechkasten bestehenden, Regenerator ersetzt, in dem als Aufsaugemittel für die ausgeatmete Kohlensäure Natronkalk so eingelagert ist, daß die Ausatmungsgase diesen durchziehen müssen. Dies wird auf sinnreiche Weise durch einen in dem Sauerstoffrohre angebrachten Injektor bewirkt, wobei der durchströmende Sauerstoff die ausgeatmeten Gase ansaugt. Außerdem hat Giersberg an dem Sauerstoffrohr seines Apparates ein Manometer angebracht, der den jederzeitigen Vorrat an Sauerstoff erkennen läßt.

Die angeführten „Rettungsapparate“ bieten den Arbeitern die Möglichkeit, in schlechtesten, mit Rauch und giftigen Gasen gemischter Luft je nach der mitgeführten Menge von Sauerstoff und Aufsaugemitteln  $\frac{1}{2}$  bis 2 Stunden angestrengt arbeiten zu können. Ihre Verwendung beim Tunnelbau kann sich daher unter Umständen bei der Herstellung von Richtstollen dann empfehlen, wenn es notwendig ist, selbst bei Aufwendung größerer Mehrkosten, den größtmöglichen Arbeitsfortschritt zu erzielen, da diese

Apparate den mit ihnen ausgerüsteten Arbeitern gestatten, die Arbeitsstelle vor Ort sofort nach dem Abschießen der Sprengschüsse wieder zu betreten und somit diejenige Zeit für die Arbeit nutzbar zu verwenden, die für den allmählichen Abzug der Sprenggase erforderlich wäre. Bezüglich des Näheren über diese Rettungsapparate wird auf die unten angegebenen Quellen verwiesen.<sup>97)</sup>

**§ 106. Die Luftleitungen.** Die zur Leitung des Luftstromes dienenden Röhren — „Lutten“ oder auch „Wetterlutten“ — werden, wenn nur zum Absaugen dienend, aus Brettern zusammengenagelt und erhalten dann einen rechteckigen Querschnitt. Die Bretter müssen dabei luftdicht aufeinander schließeln und werden zu dem Zwecke meist mit Dichtung versehen. Die einzelnen Rohrstücke schiebt man entweder schließend aufeinander oder stößt sie stumpf voreinander und versieht die Stöße mit Muffen. Diese hölzernen viereckigen Lutten bieten dem Luftstrome erhebliche Reibung und lassen sich schwer dicht halten. Für größere Lüftungsanlagen, namentlich für Druckluftleitungen, sind sie deshalb nicht anwendbar, es sind vielmehr metallene Röhren vorzuziehen und solche aus Zinkblech oder verzinktem Eisenblech von  $1\frac{1}{2}$  bis 2 mm Wandstärke herzustellen. Das Mundstück vor Ort ist beim Absaugen zur besseren Aufnahme der Luft trichterförmig zu erweitern. Die einzelnen Rohre werden ineinander gesteckt und mit Kitt gedichtet. — Beim Bau des Ochsenkopf-Tunnels bestand die 1 bis 1,5 m über der Tunnelsohle angebrachte Luftleitung aus eisernen Blechrohren von 20 cm Durchmesser, die mit Überschiebmuffen von 23 cm Durchmesser versehen waren. Die Leitung mußte an den einzelnen Aufbruchstellen vor jedem Abschießen beseitigt und danach sofort wieder hergestellt werden. Um dies auf billige und rasche Weise ausführen zu können, geschah die Dichtung mittels Lehm, der für diesen Zweck sehr geeignet ist. Beim Arlberg-Tunnel hatten die blechernen Luftleitungsrohre auf der Ostseite eine Weite von 40 cm, auf der Westseite eine solche von 50 cm bei einer Zuführung von 200 bis 250 cbm Luft in der Minute.

Die Weite der Luftleitungen ist so zu bemessen, daß eine Geschwindigkeit der Luft von 2 bis 3 m nicht überschritten wird. Um die Lüftung für jede einzelne Arbeitsstelle, namentlich bei Aufbrüchen, in denen sich die schlechte Luft wegen ihres geringen spezifischen Gewichtes sammelt, möglichst wirksam zu machen, sind von der Hauptwetterleitung Abzweigungen in die Aufbrüche zu legen. Sie dienen zur unmittelbaren Entfernung der matten Wetter vom Ort ihrer Entstehung und sind zur besseren Regelung ihrer Wirksamkeit mit Schiebern zu versehen.

In der Nähe der Arbeitsstelle wird die Rohrleitung gegen Beschädigungen durch Abdeckungen von Bohlen oder Blech besonders gesichert.

### § 107. Lüftung im Betrieb befindlicher Tunnel.

**1. Allgemeines.** In einem im Betrieb befindlichen Eisenbahntunnel muß durch entsprechende Lüftung dafür Sorge getragen werden, daß auf die Gesundheit des Personals und der Reisenden der den Tunnel befahrenden Züge, sowie der in ihm zur Unterhaltung und Bewachung beschäftigten Arbeiter kein nachteiliger Einfluß durch die mit Rauchgasen erfüllte Luft ausgeübt werden kann, wobei noch der Umstand in Betracht kommt, daß auch das Gleismaterial durch die Verbrennungsgase sehr leidet

<sup>97)</sup> Behrens. Der v. Walcher'sche „Pneumatophor“ und seine Verwendung in irrespirablen Gasen beim Grubenbetriebe. „Glückauf“, Berg- u. hüttenmännische Wochenschr. 1897, No. 49, S. 1. — Joh. Mayer. Über Atmungsapparate beim Bergbaubetriebe. Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1898, S. 1 u. 29. — L. Michaelis. Der automatische Sauerstoff-Rettungsapparat Giersberg, Modell 1901. „Glückauf“, Berg- u. hüttenmännische Wochenschr. 1901, No. 25, S. 543.

und nach kurzer Zeit zerstört wird. Im Ronco-Tunnel z. B. war man schon nach vierjährigem Betriebe genötigt, das Gleis zu erneuern, weil die Schienen und das Klein-eisenzeug völlig zerfressen waren.

Bei den meisten Tunneln genügt für den hierzu erforderlichen Luftwechsel die natürliche Lüftung, die sich aus den Wärmeunterschieden der Luft an den beiden Tunnelenden ergibt in Verbindung mit dem durch die Züge erzeugten Luftstrom. Dies ist bei allen kurzen Tunneln der Fall, und auch mittlere und selbst lange Tunnel können ohne künstliche Lüftung betrieben werden, wenn ihre Steigungsverhältnisse flach sind und wenn namentlich der Zugverkehr in ihnen gering ist und die einzelnen Züge in langen Pausen einander folgen. So war es möglich, sämtliche Tunnel in Deutschland, auch den 3033 m langen Brandleite-Tunnel und den 4200 m langen Kaiser Wilhelm-Tunnel bisher ohne künstliche Lüftung zu betreiben. Selbst der 15 km lange St. Gotthard-Tunnel mit seinen flachen Steigungen von nur 1,33 und 5,82 ‰ wurde bis in die neueste Zeit ohne künstliche Lüftung befahren, bis sich infolge des stark gesteigerten Verkehrs<sup>98)</sup> in den letzten Jahren eine künstliche Lüftung gebieterisch erforderlich machte.

Andererseits kann auch schon in kürzeren Tunneln, die in starken Steigungen liegen und in denen viele schwere Züge verkehren, zu deren Fortbewegung große Maschinenkraft erforderlich ist, die Luft durch die Rauchentwicklung der Lokomotiven so verschlechtert werden, daß nur unter Zuhilfenahme künstlicher Luftzuführung der Betrieb in ihnen aufrecht erhalten werden kann. So mußte der die Kette der Apenninen mit einer Länge von 2727 m durchbrechende eingleisige Tunnel in der Linie Bologna-Pistoja in Anbetracht des starken Verkehrs auf dieser Linie und der Steigung von 25 ‰ im Tunnel mit künstlicher Lüftung versehen werden. Ebenso wurde dies bei dem etwa 8 km langen Ronco-Tunnel in der Linie Genua-Turin notwendig.

Es kamen hier infolge des starken Verkehrs sogar mehrfach Unfälle vor, im Jahre 1898 ein besonders schwerer. Drei Lokomotiven zogen einen Güterzug durch den Tunnel bergan, ihre Führer wurden durch die starke Rauchentwicklung der Maschinen bewußtlos und kamen dem Erstickungstode nahe. Der Zug kam nun nach abwärts ins Rollen und stieß mit einem auf der Station Pontedecimo stehenden Personenzuge zusammen.

Die Notwendigkeit einer künstlichen Lüftung im allgemeinen ist daher nicht lediglich durch die Länge der Tunnel bedingt; vielmehr sind in noch höherem Maße das Steigungsverhältnis und die Größe des Verkehrs, d. h. die in einer gewissen Zeit zur Durchführung der Züge durch einen Tunnel aufzuwendende mechanische Arbeit, von der die Gasbildung abhängt, von Einfluss. Bei Verwendung von Elektrizität als Zugkraft ist auch für sehr lange Tunnel im allgemeinen eine künstliche Lüftung überhaupt nicht notwendig.

Ein im Jahre 1894 aus Mitgliedern des italienischen Ministeriums der öffentlichen Arbeiten und des Kriegsministeriums zusammengesetzter Ausschuss, der die Aufgabe hatte, ein vom Ingenieur Saccardo angegebene, sehr sinnreiche Lüftungsverfahren zu prüfen, das in dem Pratolino-Tunnel der Linie Florenz-Faenza zur Anwendung gekommen war, hat einen sehr eingehenden Bericht darüber erstattet<sup>99)</sup>, der sich nicht allein auf die Saccardo'sche Vorrichtung beschränkte, sondern auch gleichzeitig fest-

<sup>98)</sup> In den ersten Jahren verkehrten 32 Züge täglich, während in den letzten Jahren der tägliche Verkehr auf 61 Züge gestiegen ist.

<sup>99)</sup> Studio sulle esperienze eseguite coll' apparecchio Saccardo applicato all'imbocco Pracchia della galleria dell' Apennino (Linea Bologna-Pistoja). Ancona, Mai 1896.

zustellen suchte, wie die Luftbeschaffenheit in einem Tunnel sein müsse, um für das Strecken- und Zugpersonal als gut bezeichnet werden zu können. Ferner versuchte man festzustellen, mit welcher Geschwindigkeit, also auch welche Menge Luft in einen bestimmten Tunnel eingetrieben werden müsse, der von einem oder mehreren Zügen befahren wird, um eine gute Luftbeschaffenheit zu erzielen. Schliesslich war man bemüht, auf dem Wege des Versuchs die mathematischen Beziehungen zu ermitteln, nach denen der Über- oder Unterdruck an einer beliebigen Stelle des Tunnels zu bemessen sei, um den für eine gute Lüftung nötigen Luftstrom hervorzurufen.

Drei Jahre später trat eine vom englischen Handelsamte ernannte Kommission zusammen, die sich mit dem Studium der derzeitigen Lüftungsverhältnisse der Londoner Tunnelbahnen zu beschäftigen und Vorschläge zu machen hatte, durch welche Mittel diese gegebenenfalls zu verbessern seien.<sup>100)</sup>

Der Ingenieur des arts et manufactures, Raymond Godfernaux, hat diese beiden Berichte zum Ausgangspunkt einer gröfseren Abhandlung benutzt.<sup>101)</sup>

Diesen drei umfassenden Arbeiten, die wir für eingehendere Studien empfehlen, sind die nächstfolgenden Angaben entnommen.<sup>102)</sup>

**2. Art der Verunreinigung der Luft in einem im Betriebe befindlichen Tunnel.** Sie kann entstehen:

- a) Durch Gase, die aus der Tunnelbeleuchtung stammen,
- b) aus den Atmungsprodukten,
- c) aus den im Heizraum der Lokomotiven entstehenden Verbrennungsgasen.

Die beiden erstgenannten Ursachen der Luftverschlechterung können hier unberücksichtigt bleiben, da sie gegenüber der letzten verschwindend klein sind, wie sich daraus ergibt, dafs die durch die Verbrennung von einem Kilogramm Kohlen entstehende Kohlensäuremenge gleich ist der von 75 Personen, 30 Öllampen oder 60 Gasbrennern erzeugten Kohlensäure.

Im Heizraum der Lokomotive entwickeln sich folgende Gase: Kohlensäure, Kohlenoxyd, schweflige Säure, Kohlenwasserstoff und Wasserdampf und zwar je nach dem verwendeten Brennstoff und der Vollkommenheit der Verbrennung in verschiedenen Mengen.

**3. Einflufs der Verbrennungsgase auf den Menschen.** Die Frage, welchen Einflufs diese Gase auf Menschen ausüben, die sie mit der atmosphärischen Luft einatmen, ist nach dem genannten englischen Bericht wie folgt zu beantworten:

a) Kohlensäure. Bis zu 30<sup>0</sup>/<sub>100</sub> verursacht dieses Gas zwar eine gewisse Verlangsamung der Atmung, benachteiligt aber sonst in keiner Weise die Gesundheit. Bei 60<sup>0</sup>/<sub>100</sub> ruft es Herzklopfen und Kopfweh hervor, bei 100<sup>0</sup>/<sub>100</sub> wird die Atmung beschwerlich, bei 250<sup>0</sup>/<sub>100</sub> tritt der Tod sehr rasch ein. In den Tunneln der Londoner Untergrundbahn kann die Kohlensäure nicht gefährlich werden, da selbst in den schlechtest gelüfteten Abschnitten derselben nicht mehr als 8,94<sup>0</sup>/<sub>100</sub> dieses Gases nachgewiesen werden konnten.

b) Kohlenoxyd. Anders verhält es sich mit Kohlenoxyd. Die in den Tunneln der Untergrundbahn nachgewiesene Menge dieses Gases erreicht nur 0,66<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, kann aber gefährliche, wenn auch vorübergehende Folgen haben, indem das Gas die Thätigkeit des Hämoglobins im Blute, das das Ein-

<sup>100)</sup> Metropolitan Railway (Ventilation of tunnels). Report of the Committee. London 1897.

<sup>101)</sup> Génie civil 1899, S. 263 ff.

<sup>102)</sup> Vergl. auch Kemmann. Über die Lüftung von Tunneln. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1900, No. 64, 65, 66, 68, 92, 101.

dringen des Sauerstoffes in die Gewebe vermittelt, teilweise und auf einige Zeit unterbricht; 0,66<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kohlenoxyd genügen, um 34<sup>0</sup>/<sub>100</sub> des gesamten im Blute enthaltenen Hämoglobins wirkungslos zu machen. Es stellen sich infolge dessen Herzklopfen, Atmungsbeschwerden und gänzliche Erschöpfung ein, sodafs jede Anstrengung, ja selbst die Berührung mit der kalten Luft qualvoll wird. Bei einem Gehalte von nur 0,3<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kohlenoxyd treten dieselben Erscheinungen auf, doch in geringerem Mafse und auf kürzere Zeit. Nach Verlauf von zwei oder drei Stunden verschwindet das Kohlenoxyd aus dem Blute, das nun wieder seine normale Thätigkeit aufnimmt; die Kopfschmerzen können indessen noch einige Stunden anhalten, wenn der Aufenthalt in der verdorbenen Luft länger gedauert hat. Es sei hierbei noch bemerkt, dafs die Wirkungen der Vergiftung sich nicht sofort einstellen; es bedarf ungefähr einer halben Stunde, bis das Blut mit Kohlenoxyd gesättigt ist. Aus diesem Grunde ist es auch erklärlich, dafs bei den Reisenden der Untergrundbahn Erkrankungen nur selten vorkommen und dafs die Angestellten der Gesellschaft, die sich meist nur kurze Zeit im Tunnel aufhalten, diesen ohne Schaden verlassen. Bei Reisenden von schwächerlicher Gesundheit kann jedoch schon diese Menge von Kohlenoxyd bedenkliche Erscheinungen zur Folge haben, weshalb dafür gesorgt werden mufs, den Kohlenoxydgehalt herabzumindern.

Die Erscheinungen der Kohlenoxydvergiftung stellen sich schon bei einem Gehalt von 0,25<sup>0</sup>/<sub>100</sub> und nach einem 1<sup>1</sup>/<sub>2</sub>stündigen Aufenthalt im Tunnel bei ruhenden, nach kürzerem Aufenthalt bei arbeitenden Personen ein. Bei 0,50<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kohlenoxyd tritt Schwäche und Schwindel auf, bei 0,90<sup>0</sup>/<sub>100</sub> versagen die Beine, bei 1,50<sup>0</sup>/<sub>100</sub> tritt der Tod ein.

c) Schweflige Säure. Dieses Gas ist ein Gift, das den Tod herbeiführt, wenn davon 0,60<sup>0</sup>/<sub>100</sub> in der eingeatmeten Luft enthalten sind, was in den Tunneln der Londoner Untergrundbahn niemals der Fall ist. Es beträgt nämlich in denselben das Maximum von Kohlensäure 8,9<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, und da nach den Ergebnissen vorgenommener Analysen die Menge der schwefligen Säure zur Menge der Kohlensäure sich wie 1:440 verhält, so kann der grösste Gehalt an schwefliger Säure  $\frac{8,9}{440} = 0,02\frac{0}{100}$  betragen.

d) Sauerstoff. Da bei normalen Verhältnissen die in der Luft enthaltene Menge Sauerstoff 209<sup>0</sup>/<sub>100</sub> beträgt, so könnte die Befürchtung nahe liegen, dafs in den Tunneln die zur Atmung erforderliche Sauerstoffmenge infolge der Verbrennungsgase nicht vorhanden sei. Die Hygieniker nehmen an, dafs die Luft sich noch in gutem Zustande befindet, wenn der Sauerstoffgehalt nur 180<sup>0</sup>/<sub>100</sub> beträgt. Nun haben aber die während der Untersuchungen vorgenommenen Analysen ergeben, dafs unter keinen Umständen der Sauerstoffgehalt weniger als 180<sup>0</sup>/<sub>100</sub> beträgt.

e) Verhältnis der giftigen Gase zur Kohlensäure. Die vom Ausschufs angestellten Beobachtungen haben ergeben, dafs in den Tunneln der Londoner Untergrundbahn die Mengen der aufser der Kohlensäure auftretenden giftigen Gase in einem bestimmten Verhältnis zum Kohlensäuregehalt stehen, woraus gefolgert wird, dafs zur Beurteilung der Lüftungsverhältnisse der Gehalt an Kohlensäure mafsgebend ist. Die Analysen haben erwiesen, dafs das Verhältnis des Kohlenoxydgehaltes gleichbleibend ein Dreizehntel der Kohlensäuremenge ausmacht.<sup>103)</sup> Das Verhältnis der schwefligen Säure ist gleichfalls beständig und entspricht  $\frac{1}{440}$  des Kohlensäuregehaltes; nun aber hat die im Heizraume der Lokomotive verbrante rauchlose Kohle aus Wales folgende Zusammensetzung: Kohlenstoff 83,94<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, Asche 8,40<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, flüchtiger Schwefel 0,96<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, Schwefel insgesamt 1,09<sup>0</sup>/<sub>100</sub>. Wenn nun die ganze in der Kohle enthaltene Schwefelmenge verbrennen würde, müfste das Verhältnis der schwefligen Säure  $\frac{1}{230}$  des Kohlensäuregehaltes ausmachen. Es folgt hieraus, dafs  $\frac{1}{2}$  der ganzen Schwefelmenge sich als Schwefelsäure auf den Wänden oder auf dem Schotter ansammelt; denn es ist nicht gelungen, auch nur eine Spur davon in der Luft des Tunnels nachzuweisen, während das Wasser, welches sich auf den Wänden niederschlägt oder an einzelnen Stellen der Schotteroberfläche ansammelt, stets sauer ist.

f) Einflufs der verdorbenen Luft auf die Sinne. Selbst wenn der Kohlensäuregehalt der Luft gering ist und nur 1<sup>0</sup>/<sub>100</sub> beträgt, fühlt man die Wirkung beim Übergang aus reiner Luft in die eines mangelhaft gelüfteten Tunnels ganz deutlich. Diese Empfindung wird jedoch erst unangenehm, wenn der gesamte Kohlensäuregehalt der Luft über 1,50<sup>0</sup>/<sub>100</sub> beträgt und letztere rauchig wird, was bei 2<sup>0</sup>/<sub>100</sub> schon der Fall ist. Die schweflige Säure wird bei 3<sup>0</sup>/<sub>100</sub> wahrnehmbar und die Luft dadurch unerträglich; es stellt sich ein Reiz im Halse und in der Brust ein.

<sup>103)</sup> Bei Verbrennungsversuchen auf der Paris-Lyon-Mittelmeer-Bahn fand man in der Rauchkiste im Mittel einmal 10<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, ein anderes Mal 9,7<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kohlenoxyd, verglichen mit dem Gehalt an Kohlensäure: Der italienische Ausschufs fand 19,8<sup>0</sup>/<sub>100</sub> als Mittel, was wahrscheinlich auf mangelhafte Verbrennung zurückzuführen ist. Beim Mont Cenis-Tunnel fand man nur 2,9<sup>0</sup>/<sub>100</sub>.

g) Zulässige Beimischung der verschiedenen Gase. Mit Rücksicht auf die beträchtliche Anzahl von Reisenden, die auf der Untergrundbahn in London verkehren, und auf die veränderlichen Gesundheitsverhältnisse, in denen sich diese Reisenden befinden, sowie endlich auf die schädliche Einwirkung des Kohlenoxyds auf das Blut erscheint es nötig, die Menge dieses Gases nicht über 0,1<sup>0</sup>/<sub>100</sub> hinausgehen zu lassen, was etwa 1,3<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kohlensäure entsprechen würde (die Luft im normalen Zustande enthält 0,3<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kohlensäure). Der Kohlensäuregehalt an und für sich soll nicht über 1,6<sup>0</sup>/<sub>100</sub> hinausgehen. Da aber bei einem Gehalt von 1,5<sup>0</sup>/<sub>100</sub> der Geruch bereits unangenehm zu werden anfängt, ist es angezeigt, in einem Tunnel den Gesamtgehalt der Luft an Kohlensäure nicht über 1,5<sup>0</sup>/<sub>100</sub> betragen zu lassen. Demnach würde die Luft folgende Zusammensetzung aufweisen können, ohne auf die Gesundheit schädlich einzuwirken:

Gesamtgehalt an Kohlensäure (einschließlich der normalen in der Luft enthaltenen Menge) . . . . .	1,50 <sup>0</sup> / <sub>100</sub>
Hiervon Gehalt an Kohlensäure in Gestalt von Verunreinigungen . . . . .	1,2 <sup>0</sup> / <sub>100</sub>
Kohlenoxyd . . . . .	$\frac{1,2}{13} = 0,093\frac{0}{100}$
Schweflige Säure . . . . .	$\frac{1,2}{440} = 0,0027\frac{0}{100}$ . <sup>104)</sup>

4. Beispiele verschiedener Lüftungsarten. Wenn also die Kohlensäure in der Luft eines Tunnels den Gehalt von 1,5<sup>0</sup>/<sub>100</sub> übersteigt, muß auf die eine oder andere Weise frische Luft in den Tunnel in einer Menge zugeführt werden, die dieses Zusatzverhältnis der Kohlensäure herbeiführt. Man hat versucht, dies durch Verbesserung der natürlichen Lüftung zu erreichen, indem man am oberen Tunnelende, das man mit Thoren abschloß, hohe Kamine aufführte oder Schächte nach oben herstellte, die man mit dem Tunnel in Verbindung brachte. Dies war aber nur von geringem Erfolg.

a) Natürliche Lüftung durch Öffnungen im Gewölbescheitel. Bei der Londoner Untergrundbahn oder inneren Ringbahn, auf der zur Zeit des stärksten Verkehrs in einer Stunde in beiden Richtungen zusammen 38 Züge und in der übrigen Zeit noch 29 Züge verkehren, liefs man in ihren flach liegenden Tunnelstrecken zur Verbesserung der natürlichen Lüftung Öffnungen durch den Scheitel des Gewölbes brechen, die in der Mitte oder an der Seite der Strafsse ausmünden. Hiermit wurde zwar eine gewisse Besserung erzielt, doch war das Gesamtergebnis völlig ungenügend. In der Mitte der Tunnelstrecke zwischen Kings Cross- und Gower-Street wurden bis 3,89<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kohlensäure in der Tunnelluft gefunden, obwohl hier auf einer Strecke von 1100 m Länge fünf obere Öffnungen von je 6,45 qm Fläche und eine seitliche von 9,45 qm vorhanden sind. Die Lüftung der 533 m langen Strecke zwischen Gower-Street und Portland-Road erfolgt lediglich durch Öffnungen in den beiden Endstationen; die Gesamtmenge Kohlensäure dürfte hier 7,8<sup>0</sup>/<sub>100</sub> erreichen. Zwischen Portland-Road und Baker-Street sind auf 855 m Länge drei Öffnungen von je 6,45 qm angebracht; dennoch sind hier 6,11<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kohlensäure festgestellt worden. Endlich beträgt der Gehalt an Kohlensäure zwischen Baker-Street und Edgware-Road, auf einer Strecke von 715 m Länge, die mit zwei Öffnungen von 6,45 qm Fläche ausgestattet ist, 5,21<sup>0</sup>/<sub>100</sub>. An der Kohlenbühne der Station Portland-Road, in der die Lüftung sehr mangelhaft ist, hat die chemische Analyse bis zu 6,75<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, in der Gower-Street bis zu 8,94<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kohlensäure mit 0,66<sup>0</sup>/<sub>100</sub> Kohlenoxyd ergeben. Zwischen Saint James-Park und Westminster auf der Distriktbahn, wo gar keine Öffnungen angebracht sind, steigt der Kohlensäuregehalt auf 6 bis 7<sup>0</sup>/<sub>100</sub>.

<sup>104)</sup> Kemmann. Über die Lüftung von Tunneln. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1900, No. 66, S. 1007 ff.

Die Luftlöcher bewirken also in den Tunnelstrecken und Stationen keine wesentliche Verbesserung der Atmosphäre, die höchstens 1,50‰ Kohlensäure enthalten sollte. Man beabsichtigt nunmehr die Tunnelstrecke mit mechanischer Lüftung zu versehen.

b) Anwendung von Maschinen. Bei Anwendung von Maschinen kann die frische Luft entweder durch Absaugen der schlechten oder durch unmittelbares Einpressen in den Tunnel eingeführt werden. Das erstere Verfahren ist in Amerika bei dem Baltimore-, St. Louis- und St. Clair-Tunnel, in England bei dem Severn-, Mersey- und dem Tunnel der London-Mittelland-Bahn, in Frankreich im Luxembourg-Tunnel in Paris in Anwendung gekommen.

α. Absaugen der Luft im Mersey-Tunnel. Der den Eisenbahnverkehr zwischen Liverpool und Birkenhead vermittelnde Tunnel unter dem Mersey hat eine Gesamtlänge von 3,42 km und zwei unterirdische Zwischenstationen, Hamilton-Square, in 740 m Entfernung vom Eingang auf der Birkenheader Seite, und St. James-Street in einer Entfernung von 770 m vom Eingang auf der Liverpoolscher Seite. Die Entfernung der beiden Stationen beträgt also 1910 m, entsprechend der Breite des Mersey an dieser Stelle.

Die Zufahrtrampen sind sehr steil, sie haben Neigungen bis zu 3,7‰. In der Zeit des dichtesten Verkehrs beträgt die Anzahl der Züge 17 in der Stunde; in der übrigen Zeit sinkt sie auf acht herab.

Die Lüftung des Tunnels wird von vier Stellen mittels Luftsauger Guibal'scher Bauart besorgt, von denen zwei in Hamilton-Square und zwei in St. James stehen. Der erste Sauger in Hamilton-Square, der 19,5 m Durchmesser, 3,05 m Breite hat und 47 Umdrehungen in der Minute macht, lüftet die Strecke zwischen Birkenhead und Hamilton-Square, indem er in deren Mitte die Luft absaugt. Die Menge der durch jedes der beiden Mundlöcher zu Birkenhead und Hamilton-Square eingezogenen frischen Luft beträgt 51 cbm in der Sekunde. Der zweite Sauger in Hamilton-Square, der 12,2 m Durchmesser, 3,65 m Breite hat und 45 Umdrehungen in der Minute macht, lüftet die eine Hälfte des Abschnitts zwischen dieser Station und St. James-Street; das Saugrohr zieht in der Mitte des zu entlüftenden Abschnitts die Tunnelluft ab. Die Menge der in diesen Abschnitt einströmenden frischen Luft beträgt 63,50 cbm in der Sekunde. Von den beiden Absaugern in der Station St. James-Street dient der eine zur Lüftung der zweiten Hälfte des Stationsabschnitts. Dieser Absauger hat einen Durchmesser von 12,2 m Breite und eine Breite von 3,65 m; er macht 45 Umdrehungen in der Minute und zieht 84 cbm Luft sekundlich durch den Tunnelmund ein. Der zweite Absauger, der 9,15 m Durchmesser, 3,05 m Breite hat und 60 Umdrehungen in der Minute macht, lüftet den zwischen St. James-Street und dem Eingang auf der Liverpoolscher Seite gelegenen letzten Teil des Tunnels. Die durch jeden Mund einströmende Luftmenge beträgt 30 cbm in der Sekunde. Ein Absauger von 70 cbm Leistung in der Sekunde ist dem zuletzt angeführten noch beigegeben. Nach dem Angeführten beträgt die Gesamtmenge der sekundlich in den Tunnel gezogenen frischen Luft 380 cbm.

Chemische Analysen der Luft in der Tunnelstrecke zwischen der Liverpoolscher Centralstation und Hamilton-Square haben im Durchschnitt 1,395‰ Kohlensäure ergeben. In den Zuleitungen der Lüftungsmaschinen, in denen natürlich die Luft am stärksten verunreinigt ist, wurden 1,59 und 2,16‰ Kohlensäure festgestellt, während die Luft in den Stationen im Durchschnitt 1,195‰ Kohlensäure enthält.

β. Absaugen der Luft im Severn-Tunnel. Der Severn-Tunnel liegt im Zuge der Hauptstrecke der Westbahn von London nach Wales; er hat 7 km Länge, an seinen beiden Enden Steigungen von 1 bis 1,11‰ und ist in seinem mittleren Teile wagerecht.

Die Lüftung dieses Tunnels wird durch einen Absauger bewirkt, der in einen 5,5 m weiten Schacht eingebaut ist. Letzterer, am rechten (nördlichen) Ufer des Severn, mündet in den Tunnel in einer Entfernung von 2600 m vom nördlichen Eingange des Tunnels. Die Maschine saugt die Tunnelluft ab und die frische Luft dringt durch die beiden Tunnelmundlöcher nach. Der Absauger ist von Guibal'scher Bauart, hat 12,20 m Durchmesser und 3,66 m Breite, macht normal 27 Umdrehungen in der Minute und wird durch eine liegende Verbunddampfmaschine mit Kondensation betrieben, die im gewöhnlichen Gang 85 ind. Pferdestärken leistet. Eine Dampfmaschine ohne Kondensation ist für Notfälle daneben aufgestellt.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen beträgt die Geschwindigkeit des Luftstromes im Tunnel 2,50 m auf der Seite von Wales (Nordseite) und 1,95 m auf der Seite von Bristol (Südseite). Die in einer Sekunde geförderte Luftmenge beträgt auf der Seite von Wales 104,0 cbm, auf der Seite von Bristol 81,5 cbm, zusammen 185,5 cbm. Der Querschnitt des Tunnels ist 41,75 qm groß und der

Verkehr beziffert sich auf 158 Züge in 24 Stunden. Bei einem durchschnittlichen Verbrauch auf das Zugkilometer von 9 kg Kohle aus Wales wurden an Kohlensäure in der Tunnelluft festgestellt: 50 m vom Lüftungsschacht auf der Bristolor Seite 0,84<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, auf derselben Stelle nach Durchfahrt eines Güterzuges 1,14<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, 50 m vom Lüftungsschacht auf der Seite von Wales nach Durchfahrt eines Güterzuges 0,96<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, in der Mitte des Tunnels 1,07<sup>0</sup>/<sub>100</sub>, 800 m vom Eingang auf der Bristolor Seite 0,42<sup>0</sup>/<sub>100</sub>.

Die Gesamtkosten der Lüftungsanlage belaufen sich auf 88 000 M., die sich wie folgt zusammensetzen:

3 Kessel . . . . .	24 000 M.
Kesselhaus . . . . .	16 000 „
Dampfmaschinen und Luftsauger . . . . .	25 600 „
Übertragungen . . . . .	6 400 „
Maschinenhaus . . . . .	16 000 „
zusammen . . . . .	88 000 M.

Die jährlichen Betriebskosten dürften sich wie folgt stellen:

Für Tilgung und Zinsen des Anlagekapitals 10 <sup>0</sup> / <sub>100</sub> von 56 800 M. und 5 <sup>0</sup> / <sub>100</sub> von 32 000 M., zusammen . . . . .	7 200 M.
Für 3 Maschinisten und 3 Heizer bei achtstündigem Dienst . . . . .	10 868 „
Für Kohlen 1035 t zu 10 M. . . . .	10 350 „
Für Aufsicht, allgemeine Ausgaben u. s. w. . . . .	2 120 „
Somit jährliche Gesamtkosten . . . . .	30 538 „

oder auf jeden Zug  $\frac{30538}{365 \cdot 158} = 0,52 \text{ M.}^{105)}$

7. Einpressen von Luft in den Tunnel. Das zweite Verfahren, frische Luft unmittelbar in den Tunnel einzupressen, findet man in allerdings sehr unzuweckmäßiger und ungenügender Weise im Mont Cenis-Tunnel. Man treibt von den Tunnelmundlöchern aus mittels Prefsluftmaschinen verdichtete Luft in eine längs den Wandungen durch den ganzen Tunnel sich hinziehende Rohrleitung. In Notfällen, wenn etwa ein Zug stecken bleibt oder gleitet, kann man durch Öffnen der Hähne in der Rohrleitung sofort einen ziemlich starken Luftzug im Tunnel herstellen.

In ausgezeichnete, sehr sinnreicher und wirksamer Weise ist das Einpressen frischer Luft von dem italienischen Ingenieur Saccardo zur Anwendung gebracht und zwar zum ersten Male in dem kleinen Pratolino-Tunnel der Linie Florenz-Faenza. Nachdem die vorerwähnte Prüfung durch den hierfür eingesetzten Ausschufs sehr günstig ausgefallen war, entschlofs sich die Verwaltung der Linie Bologna-Pistoja zur Einführung dieser Lüftungsanordnung auch für den 2727 m langen Apenninen-Tunnel bei Pracchia, wo sie sich ebenfalls vorzüglich bewährte, sodafs sie auch von der Gotthardbahn-Gesellschaft zur Ausführung gebracht wurde, wo sie sich seit dem 16. März 1899 mit bestem Erfolg in Betrieb befindet.

Die nachfolgende Beschreibung der Saccardo'schen Anordnung ist dem Auszuge aus dem das Jahr 1898 umfassenden Geschäftsbericht der Direktion und des Verwaltungsrats der Gotthard-Bahn entnommen.<sup>106)</sup>

2. Saccardo's Verfahren läuft im wesentlichen darauf hinaus, dafs dicht hinter einem der beiden Tunnelportale auf einer ringförmigen, rund um den Tunnelquerschnitt eingebauten Luftkammer durch eine ebenfalls ringförmige, von zweckentsprechend angeordneten Leitflächen umgebene Öffnung Luft in der Richtung nach dem anderen Portale hin in den Tunnel eingeblasen wird. Die eingeblasene Luft reifst, wenn ihre Menge und Geschwindigkeit eine gewisse Gröfse besitzen, die Luftsäule, die die Tunnelröhre erfüllt, in der Richtung nach dem anderen Portal hin mit sich fort, sodafs im Tunnel ein von Portal zu Portal gehender Luftzug erzeugt, unter Umständen auch ein vorhandener, jener Richtung

<sup>105)</sup> Kemmann. Über die Lüftung von Tunneln. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1900, No. 65, S. 992 ff.

<sup>106)</sup> Centralbl. d. Bauverw. 1899, No. 51, S. 310 u. 311.

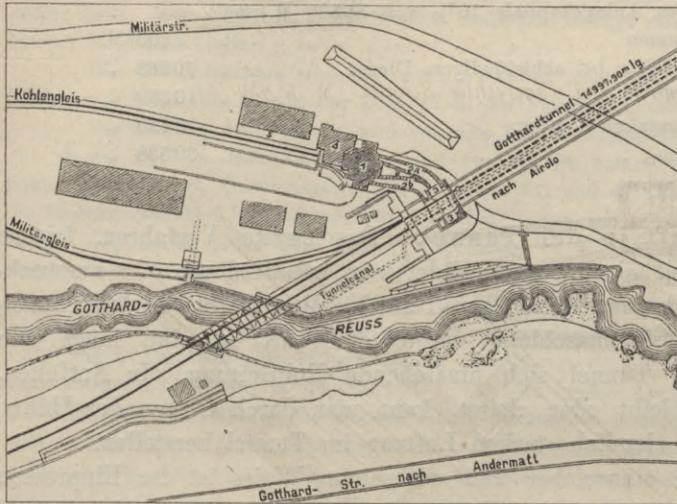
entgegengesetzter Luftzug umgekehrt wird. Das Verfahren beruht also auf ähnlichen Grundsätzen, wie die Dampfstrahlpumpe, wie die Luftansaugung bei Gaskochern u. s. w. Während man früher geglaubt hatte, das Einblasen von Luft in einen Tunnel von einem Mundloche aus nur derart ins Werk setzen zu können, daß man die Tunnelöffnung, um ein seitliches Entweichen der eingeblasenen Luft zu verhüten, vorübergehend abschloß, ist bei dem Saccardo'schen Verfahren eine derartig für den Betrieb äußerst lästige Maßnahme nicht nur entbehrlich, sondern gerade das Ansaugen der Luft durch das offen bleibende Portal bildet hier einen wesentlichen Teil der Wirkung.

e. Anwendung des Saccardo'schen Verfahrens auf den Gotthard-Tunnel. Da die Bahn im Gotthard-Tunnel nach dem etwa in der Mitte liegenden höchsten Punkte vom Nordportal mit 5,82 vom Tausend, vom Südportal nur mit 1,33 vom Tausend ansteigt, die Rauchentwicklung also in

Fig. 272.

*Lageplan der Lüftungsanordnung beim Gotthard-Tunnel.*

M. 1 : 2625.



1 Maschinenhaus. 2 a u. 2 b Luftkanäle zum Tunnel. 3 Luftkammer im Tunnel.  
4 Lokomotivschuppen. 5 Kohlenbühne.

In Fig. 273 bis 276 (S. 347) sind die Einzelheiten dargestellt. In das Maschinenhaus tritt die erforderliche Luft durch große Aussparungen in den Umfassungswänden unter dem Holzcementdache. Das Ansaugen und Zusammenpressen der Luft besorgen zwei eiserne Kreiselluftpumpen der Form Ser von 5 m Durchmesser und 0,40 m Flügelbreite, die auf eine wagerechte, 180 mm starke Welle aufgekellt sind. Jeder der beiden Kreisel ist von einem gemauerten Gehäuse umgeben, dessen kreisrunde Zuströmungsöffnungen von 2,40 m Durchmesser zur Erzielung möglichst dichten Anschlusses der Windflügel schwere Kunststeinumrahmungen erhalten haben.

An die beiden gemauerten Gehäuse schliessen sich die beiden Luftkanäle an, die in Bruchsteinmauerwerk gewölbt und mit Cementmörtel glatt verputzt sind. Sie führen die Prefsluft der Luftkammer zu, die unmittelbar hinter dem vorgesetzten erweiterten Portalring um die Tunnelröhre eingebaut ist. Die nördliche, mit dem Luftkanal 2 b zusammenhängende Hälfte der Luftkammer umfaßt nur den oberen Teil des Tunnelumfangs und hört ungefähr in Kämpferhöhe auf, während die südliche, an den Luftkanal 2 a anschließende Hälfte der Kammer um den ganzen Tunnel, also auch unter den Gleisen herumführt. Die äußere Wandung der Kammer besteht aus Mauerwerk. Die innere Wandung ist, da hier an Platz gespart werden mußte, aus einem 5 mm starken Eisenblechmantel gebildet. Dieser verengt sich in seinem südlichen Auslauf seitwärts und oberhalb der Tunnelröhre bis zur Umgrenzung des lichten Raumes. Zwischen dem Auslauf des Eisenblechmantels und dem Tunnelumfang verbleibt die ringförmige Öffnung, durch die die Luft aus der Luftkammer in den Tunnel eingeblasen wird. Ebenso wie der die Einblaseöffnung innerhalb begrenzende Blechmantel ist auch die äußere Umgrenzung dieser Öffnung schräg nach innen eingezogen, und zwar an beiden Seiten durch schräges Abschneiden der gemauerten Kammerwände (Fig. 274), längs des Gewölbes durch einen 6 m langen, aus Eisenblech ge-

der Nordhälfte eine stärkere sein muß, so hätte zwar ein südnördlicher Luftzug den größten Teil der Rauchgase am schnellsten aus dem Tunnel herausgeschafft. Mit Rücksicht auf die vorherrschende nordsüdliche Richtung des natürlichen Luftzuges hat man aber auch für die künstliche Lüftung diese Richtung gewählt. Demnach waren am Nordende, in Göschenen, die Einrichtungen für das Einblasen der Luft zu treffen.

Fig. 272 zeigt die Gesamtanordnung dieser Einrichtungen. Vom Maschinenhaus (1) aus, in dem die Luft angesogen und zusammengedrückt wird, strömt sie durch zwei große Kanäle (2 a, 2 b) zu der Luftkammer (3), die die Tunnelröhre dicht hinter dem Nordportal ringförmig umgibt, und wird aus dieser Luftkammer in der Richtung nach dem Südportal (Airolo) zu in den Tunnel eingeblasen.

bildeten Einbau, der den Tunnelquerschnitt bis zur Umgrenzung des lichten Raumes einschränkt (Fig. 276). Soweit die Luftkammer auch unter den Gleisen hindurchgeht, sind diese auf 6,45 m Länge durch möglichst schmale eiserne Träger unterstützt. Unter diesen Trägern wird auch hier die innere Umgrenzung der Luftkammer durch einen Blechmantel gebildet, an dessen nach oben abgebogenen Auslauf nach Süden zu sich eine Öffnung zwischen den Schienen bzw. zwischen den die Schienen stützenden Trägern anschließt.

Fig. 273. Längenschnitt nach A B.

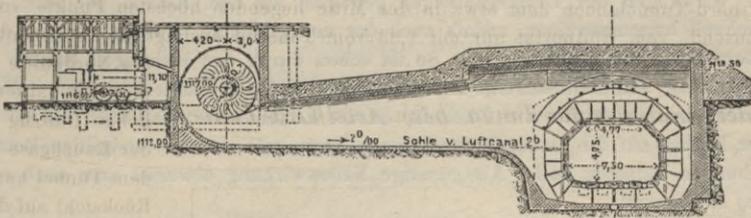


Fig. 274. Grundrifs und wagerechter Schnitt. M. 1:630.

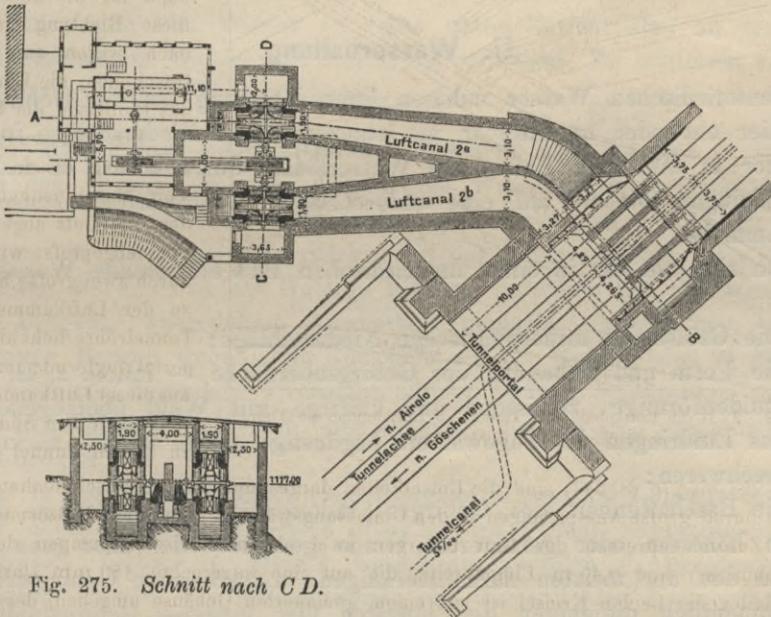
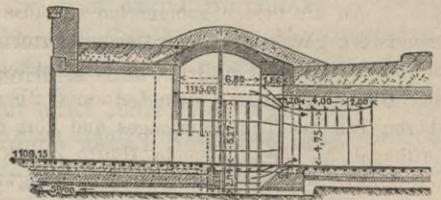


Fig. 275. Schnitt nach C D.

Es ist leicht ersichtlich, daß bei der eben beschriebenen Form die Einblaseöffnungen, deren Wandungen als Leitflächen wirken, der in den Tunnel eingeblasenen Luft die Richtung nach dem Südportal des Tunnels erteilen, sodafs die in der Tunnelröhre befindliche Luft in demselben Sinne mit fortgerissen wird.

Für den Betrieb der Maschinen ist eine Ausnutzung der an Ort und Stelle vorhandenen Wasserkräfte vorgesehen, und zwar so, daß unmittelbar auf der Welle der Kreisel entweder eine Turbine angebracht wird oder eine Dynamomaschine, die dann durch elektrische Übertragung von einer an anderer Stelle befindlichen Wasserkraftmaschine ihre Kraft erhält. Da man indessen vor Bewahrung der Anlage thunlichst geringe Kosten aufwenden wollte, so hat man als vorläufige Kraftmaschine, ähnlich wie in Pracchia, eine Lokomotive verwandt, die in einem leichten Schuppen nördlich vom Maschinenhaus aufgestellt ist (4 in Fig. 272), und die mittels 10 über 2 Seilrollen von 3 m Durchmesser geführten Hanfseilen ihre Bewegung auf die Kreisel überträgt.

Fig. 276. Längenschnitt in der Tunnelaxe.



Am 16. März 1899 wurde die Anlage zum ersten Male in Betrieb gesetzt und ist seitdem, abgesehen von den für Reinigen und Schmieren der Lokomotive erforderlichen Pausen, dauernd mit gutem Erfolg in Betrieb erhalten. Beispielsweise gelang es am 16. März 1899 mit 70 Kreiselumdrehungen in der Minute einen mäfsigen Süd-Nord-Zug in einen Nord-Süd-Zug zu verwandeln, dessen Geschwindigkeit 500 m vom Südportal noch zu 2,80 m bemessen wurde. An anderen Tagen wurde ein Süd-Nord-Zug von 2,0 m mit 70 und 100 Kreiselumdrehungen in Nord-Süd-Zug von 1,3 bzw. 1,9 m Geschwindigkeit verwandelt, ein Nord-Süd-Zug von 2,0 m mit 65 Kreiselumdrehungen auf 2,08 m und mit 100 Umdrehungen auf 4,0 m Geschwindigkeit verstärkt.

Diese Wirkungen der Lüftungsanlagen genügen, um den Rauch, der sich bisher im Tunnel verdichtete, schnell herauszutreiben, sodafs auch der unangenehme, muffige Geruch, der früher dauernd im Tunnel herrschte, verschwunden ist. So ist schon durch den bisherigen Betrieb der neuen Anlage die Gleisunterhaltung und Bahnaufsicht in erheblichem Mafse erleichtert worden. Einen noch besseren Erfolg verspricht man sich für die Zukunft, da die Lokomotive nicht mehr als 90 Umdrehungen der Kreisel in der Minute auf die Dauer hervorbringen kann, während die endgiltige Betriebskraft 120 und mehr Umdrehungen zulassen soll. Als günstige Nebenwirkung erwartet man auch eine längere Dauer des Oberbaues im Tunnel.

Die bisher ausgeführte Lüftungsanlage hat einschliesslich der Vergütung an den Patentinhaber, aber ohne den Wert der Lokomotive, rund 145 000 M. gekostet.<sup>107)</sup>

## II. Wasserhaltung.

Alle unterirdischen Wasser nehmen ihren Ursprung auf der Gebirgsoberfläche, indem sie hier entweder unmittelbar als atmosphärische Niederschläge in den Boden einsinken oder in einzelnen Fällen aus Wasserläufen durch Klüfte in das Innere des Gebirges eindringen, bis sie auf eine undurchlässige Gebirgsschicht stofsen, über der sie sich ansammeln.

Danach sind auf die in einen unterirdischen Bau eintretende Wassermenge von Einflufs:

1. Die Gröfse der atmosphärischen Niederschläge;
2. die Form und Bebauung der Gebirgsoberfläche — indem z. B. eine flache, muldenförmige, zerrissene und klüftige, mit Wald überzogene Oberfläche das Eindringen des Tagewassers begünstigt, steile, felsige, nackte Hänge es erschweren;
3. die Beschaffenheit des Gebirges, indem diese die Aufnahme des Wassers in höherem oder geringerem Grade gestattet oder aber ganz ausschliesst. Zu den am meisten aufnahmefähigen, wasserreichen Gebirgsarten gehören namentlich diejenigen der jüngsten und jüngeren Gebirgsbildungen, wie Gerölle, Sand, die Mergelarten, thonige Schiefergesteine, gewisse Kalksteine, Dolomite, Gipse u. s. w., während die Gesteine der älteren Gebirgsbildungen, wie z. B. Gneis, Granit u. s. w., meistens trocken sind. Nur wenn diese von Spalten und Klüften durchzogen, oder wenn ihre Schichten sehr steil aufgerichtet sind, kann das Wasser durch diese auch in ältere Gesteine bis zu gröfseren Tiefen eindringen, wie z. B. beim St. Gotthard, wo im Tunnel-Richtstollen in den fast senkrecht stehenden Gneis- und Granitschichten bei einer Tiefe von rund 1000 m unter der Oberfläche aufsergewöhnlich grofse Wassermassen angetroffen wurden. Erfahrungsgemäfs zeigen sich als wasserführend namentlich die Übergangsschichten zwischen verschiedenen Gesteinsarten infolge der ungleichen Durchlässigkeit.

<sup>107)</sup> Paul. Ventilationsanlage für den Gotthard-Tunnel in Göschenen. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1899, No. 27, S. 433.

Auf die Wassermenge ist schliesslich von Einfluss: die Ausdehnung des unterirdischen Baues, insbesondere die Länge eines Tunnels, da mit deren Zunahme eine grössere Zahl von Gebirgsschichten durchschnitten wird und das Anwachsen der Oberfläche dazu beiträgt, Wasser in den offenen Bau zu entsenden.

Eine auch nur annähernde Vorherbestimmung der zu erwartenden Wassermenge ist unmöglich, weil man bei der Unsicherheit des unterirdischen Schichtenfalles nur selten einen zuverlässigen Anhalt für die Ausdehnung des in Rechnung zu ziehenden Niederschlagsgebietes hat, und etwa vorhandene weitreichende Klüftungen alle bezüglichen Rechnungen hinfällig machen können. In der Regel betragen die Gesamtwasserzuflüsse bei den Tunnelbauten zwischen 1 und 10 cbm in der Stunde; selten gehen sie über 20 bis 30 cbm hinaus. Wassermengen von 90 cbm in der Stunde, wie bei dem Schwelmer Tunnel, oder von 135 bis 170 cbm, wie beim Hauenstein-Tunnel, oder gar von 800 bis 1200 cbm in der Stunde, wie zeitweise beim Gotthard-Tunnel, sind als Ausnahmen anzusehen.

Die „Wasserhaltung“ umfasst nun alle diejenigen Vorkehrungen, die dazu dienen, sowohl das Eindringen von Wasser in einen unterirdischen Bau zu verhindern, als auch die eingedrungenen Wasser aus diesem zu entfernen. Zu letzterem Zwecke dient die „Wasserführung“ und „Wasserhebung“.

### § 108. Mittel zum Fernhalten des Wassers vom Tunnel.

1. Zu den Mitteln, die dazu dienen, den Wasserzutritt in einen unterirdischen Bau zu verhindern oder doch zu beschränken, gehört zunächst die Anlage von Gräben und Drainagen auf der Gebirgsoberfläche, um das Tagewasser aus dem Bereiche des Baues abzuleiten, bevor es in das Gebirge Eingang gefunden hat. Es wird von diesem Mittel beim Bergbaue ausgedehnte Anwendung gemacht, während man beim Tunnelbau der kürzeren Bauzeit wegen, mit Rücksicht auf die Kosten, sich in der Regel auf die Anlage einzelner besonders wirksamer offener Gräben beschränken muss, die das bei starken Regengüssen in Mulden oder einzelnen Rinnen sich ansammelnde Wasser abzuleiten vermögen.

2. Das in das Gebirge bereits eingedrungene Wasser kann man in den Fällen, wo es sich über undurchlässigen Schichten oberhalb des Tunnels angesammelt hat, durch Ableitung mittels besonderer kleiner Entwässerungstollen („Anzapfen“) oder bei Schächten durch Dichten der Schachtwände mit wasserdichter Zimmerung (Kuvelage, s. § 65) von dem Eintreten in den tieferen Bau abhalten.

Besondere Entwässerungstollen stellt man auch wohl in schwimmendem Gebirge her, um die Ausführung eines Tunnels durch Austrocknen des Gebirges zu erleichtern. Als hervorragendes Beispiel dieser Art ist der Bau des Tunnels von Habas (Eisenbahn von Bax nach Ramoux in Frankreich) zu nennen. Der lehmige, sehr wasserreiche Sand bot hier so erhebliche Schwierigkeiten, dass man nach mehrfachen vergeblichen Versuchen, das Wasser abzuleiten, schliesslich dazu überging, zu beiden Seiten des Tunnels eine Entwässerung des Gebirges in grossem Mafsstabe vorzunehmen. Man trieb zu diesem Zweck im Abstände von 12 m zu jeder Seite der Tunnelaxe sechs untereinander liegende Stollen von je 1,8 m Höhe und 1,1 m Breite. Dabei lag der oberste Stollen in der Höhe des Grundwassers, während der unterste die Höhe der Tunnelsohle erreichte (Fig. 4, Taf. XI). Die Stollen wurden, um sie vor Verfall zu schützen, mit Steinen ausgepackt. Der Erfolg dieser allerdings sehr kostspieligen Nebenanlage war vollkommen; der Tunnel konnte zwischen den Entwässerungstollen

ohne Schwierigkeit vollendet werden. Die Kosten beliefen sich auf 1560 M. f. d. lfd. m Tunnel.

3. Bei dem Arbeitsbetrieb vom Schacht aus wird nicht selten in einem der beiden von da vorgetriebenen Richtstollen durch Anschlagen einer wasserreichen Ader plötzlich soviel Wasser dem Schachte zugeführt, daß zu dessen Bewältigung die vorhandene Einrichtung nicht ausreicht, vielmehr eine Vermehrung der Wasserableitungsmittel erforderlich wird. Um nun während des Einbauens der letzteren nicht die ganze Arbeitsstelle des Schachtes (also die beiderseitigen Ausweitungen und den Vortrieb des anderen Richtstollens) einstellen zu müssen, ist man zur einstweiligen Abdämmung der betreffenden Stollenstrecke genötigt, sodafs dem Wasser der Zutritt zu dem übrigen Bau versperrt wird. Diese Abdämmung geschieht einige Meter vom Stollenort entfernt, entweder mit Hilfe eines Fangdammes (bestehend aus zwei rechtwinkelig in den Stollen eingebauten, nach allen Seiten in das feste Gebirge eingreifenden Bohlwänden, deren Zwischenraum mit thonigem Boden ausgestampft wird) oder am sichersten durch Einbauen einer wasserdichten Quermauer. Dabei ist in letztere ein mit einem Stöpsel verschlossenes Rohr einzumauern, um vor dem späteren Entfernen der Mauer Gelegenheit zum allmählichen Ablassen des Wassers zu haben.

**§ 109. Wasserführung und Wasserhebung.** Die Beseitigung des in den Bau eingedrungenen Wassers gestaltet sich am einfachsten, wenn die Stollen- oder Tunnelsohle vom Mundloch aus mit genügender Steigung in das Gebirge eindringt, sodafs das Wasser durch das natürliche Gefälle seinen Abzug findet (Wasserführung). In diesem Falle genügt ein einfacher Graben („Wasserrösche“), der in der Sohle ausgebrochen und mit Bohlen abgedeckt wird, s. Fig. 12 u. 15, Taf. II. In der Regel reicht es aus, diese Wasserröschen 0,3 bis 0,4 m breit und ebenso tief auszuführen, selten müssen Breite und Tiefe auf 1,0 m gesteigert werden, wie das auf der Südseite des Gotthard-Tunnels erforderlich war. Die Wasserröschen werden in standfestem Gebirge nicht ausgemauert, die bleibende Abdeckung erfolgt meist mit Steinplatten. In weniger standfestem Gebirge macht sich jedoch eine Ausmauerung erforderlich, auch hat man in diesem Falle zweiteilige gufseiserne Kanäle nach Fig. 277 verwendet, deren unterer Teil in Beton eingebettet, während der obere durchlöchernte mit Schotter bedeckt wurde (Fischbachthal-Bahn). Man hat auch Kanäle ganz in Beton hergestellt und sie mit Steinplatten abgedeckt (Tunnel der Strecke Zella-Mehlis-Schmalkalden), s. Fig. 278.

Fig. 277.<sup>108)</sup> Wasserrösche aus Gufseisen.

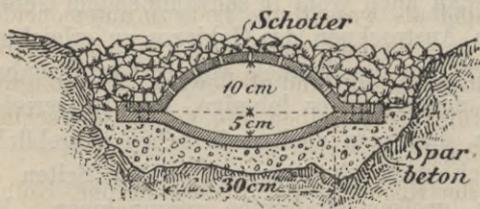
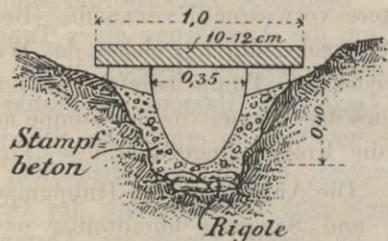


Fig. 278. Wasserrösche.



Wenn aber der Tunnel oder der vorausseilende Stollen vom Tage aus mit Gefälle betrieben werden mufs, so ist man genötigt, das vor Ort sich ansammelnde Wasser auf künstlichem Wege zu entfernen, und bedient sich dazu folgender Mittel:

<sup>108)</sup> Die Fig. 277 u. 278 sind aus dem Centralbl. d. Bauverw. 1894, S. 426 entnommen.

1. Bei geringem Wasserzufluss schöpft man das Wasser mit Schaufeln oder Eimern aus den hierzu angelegten Vertiefungen (sogenannten Sumpflöchern) in hölzerne, aus zwei Brettern zusammengenagelte Rinnen, die es — bei größeren Längen in Absätzen mit Hilfe mehrerer Rinnensätze und wiederholten Schöpfens — bis zu Tage fördern. Ist dabei der Wasserzudrang so groß, daß ununterbrochen geschöpft werden mußte, dann wendet man statt der Schöpfgefäße einfache Handpumpen an.

2. Genügen diese Vorkehrungen nicht mehr, so muß man Pumpen mit Maschinenbetrieb anwenden. Als solche dienen in der Regel Dampfpumpen. Beträgt die Saughöhe nicht über 7 bis 8 m, so werden die Pumpen am Stollenmundloch (bezw. im Schacht) aufgestellt und es wird an Stelle der Rinnensätze eine luftdicht schließende Röhrenleitung als „Saugsatz“ im Stollen angelegt. Beim Naenser Tunnel wurde auf diese Weise (mit Hilfe des Schachtgestänges) ein Stollen bis 330 m Länge bei starkem Zufluss in befriedigender Weise wasserfrei gehalten.

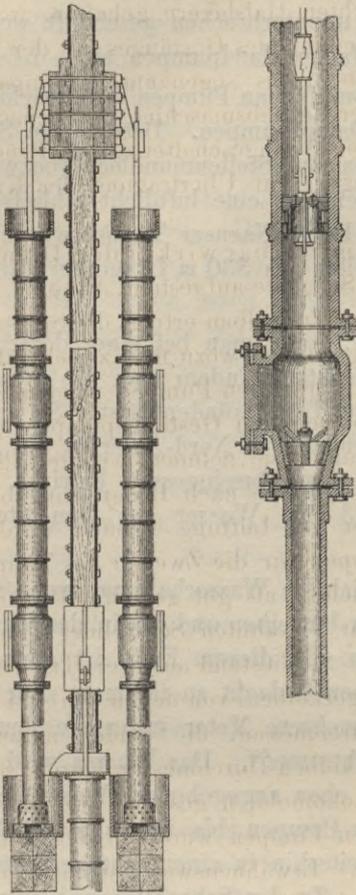
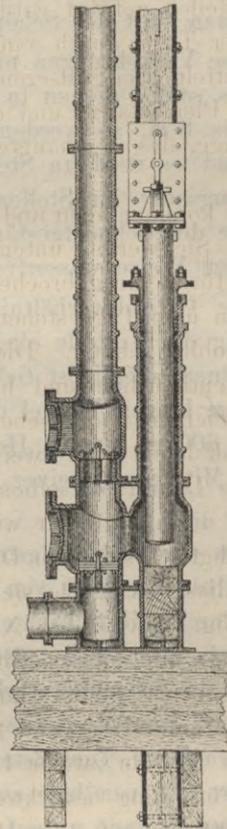
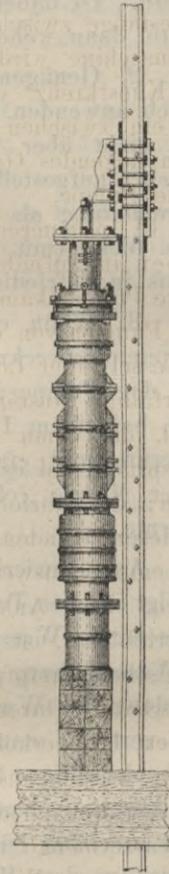
3. Wenn es die Geländeverhältnisse gestatten, kann man bei einer derartigen Saugpumpe zweckmäßig die Vorteile eines Hebers ausnutzen, indem man das Ausgufsrohr der Pumpe an einem möglichst tiefen Punkte zu Tage münden läßt. So wurde z. B. bei einem 1300 m langen Tunnel der Ohio-Eisenbahn in Nord-Amerika die Entwässerung mit einem 600 m langen Heber von 75 mm Durchmesser bewirkt, der in der Minute (ohne Mitwirkung einer Pumpe) 0,23 cbm Wasser aus dem Stollen entfernte.

Am schwierigsten und kostspieligsten gestaltet sich die Wasserhaltung, wenn man genötigt ist, den Tunnelbau mit Hilfe von Schächten zu betreiben und das in den Tunnel einbrechende Wasser durch die Schächte zu entfernen. In diesem Falle ist stets auf die Wasserhebung mittels maschinell betriebener Pumpen Bedacht zu nehmen. Zur Ansammlung des Wassers im Schachte wird dieser um mehrere Meter unter die Tunnelsohle vertieft; man nennt diese Vertiefung den „Schachtsumpf“. Das Wasser wird aus den beiderseitigen Stollen bzw. Tunnelstrecken in der oben angegebenen Weise diesem Schachtsumpfe zugeführt und von hier aus mittels der Pumpen bis zu Tage gehoben, wo es in einem hölzernen Gerinne aufgefangen und weiterhin in einem gut gedichteten Graben aus dem Bereiche des Tunnels abgeführt wird. Zu den Schachtpumpen werden verschiedenartige Konstruktionen verwandt. Zum Betriebe dient in der Regel Dampfkraft, sofern nicht etwa Wasserkräfte zur Verfügung stehen.

a) Als bisher am gebräuchlichsten, namentlich für größeren Betrieb, sind die Gestängepumpen zu nennen. Sie werden als Hubpumpen, wie als Druckpumpen (letztere vorwiegend) verwandt. Bei beiden sind als wesentliche Teile zu unterscheiden: das Saugrohr, durch welches das Wasser aus dem Sumpfe angesaugt wird; das Kolbenrohr oder der „Pumpentiefel“, in dem der Kolben sich auf und ab bewegt; das Steigrohr, welches das Wasser von der Pumpe nach oben führt; der Kolben, die Ventile und schließlich die Kolbenstange oder das „Pumpengestänge“.

Die Anordnung der Hubpumpen ist in der Regel derartig, daß Steigrohr, Kolbenrohr und Saugrohr unmittelbar untereinander in einer Axe angebracht sind (vergl. Fig. 279 u. 280); nur wenn örtliche Verhältnisse es nötig machen, läßt man das Saugrohr seitlich in das Kolbenrohr einmünden.

Die Druckpumpen werden fast ausschließlich mit Taucherkolben konstruiert. Die gewöhnlichste Anordnung ist die, bei der das Saugrohr unmittelbar unter dem Steigrohr, das Kolbenrohr dagegen seitwärts angebracht ist (Fig. 281 u. 282).

Fig. 279 bis 282. *Gestängepumpen für Schachtanlagen.*Fig. 279 u. 280. *Hubpumpe.**Schnitt.*Fig. 281 u. 282. *Druckpumpe.**Schnitt.**Seitenansicht.*

Das Gestänge wird bei Hubpumpen aus Rundeisen, bei Druckpumpen meistens aus Holz hergestellt. Die Steigrohre werden aus Gufseisen, in neuerer Zeit aber häufig aus starkem Eisenblech angefertigt, das man wie bei den Dampfkesseln vernietet. Die Verbindung der einzelnen 6 bis 10 m langen Rohre erfolgt dabei durch Flanschen aus Winkeleisen oder Gufseisen. Bei hohem Steigrohr ist der Druck auf die Wandung des unteren Teiles, der noch durch Stöße von der sich bewegenden Wassersäule vermehrt wird, sehr bedeutend. Diesem Druck entsprechend muß die Wandstärke der Rohre nach unten größer werden. Man geht damit in Rücksicht auf das Gewicht der Rohre nicht gern über eine gewisse Grenze hinaus; außerdem wird durch den großen Wasserdruck die Dichtung zwischen den einzelnen Rohren sehr erschwert. Aus diesen Gründen macht man das Steigrohr in der Regel nicht höher als 50 bis 70 m. In tieferen Schächten muß man dann mehrere Pumpen übereinander einbauen, von denen die untere das Wasser der oberen zuführt, indem sie dieses in einem Wasserkasten ausschüttet, in den das Saugrohr der oberen hineinreicht. Da jedoch durch diese Anordnung die Anlage- und Unterhaltungskosten erheblich vermehrt werden, so ist man in neuerer Zeit bestrebt, unter Benutzung langer schmiedeiserner Rohre mit der Höhe der einzelnen Pumpen-

sätze über das herkömmliche Maß hinauszugehen. So hat man z. B. auf der Grube „von der Heyd“ bei Steele in Westfalen Drucksätze von 188 m Höhe in Betrieb.

Die Pumpen werden auf einer starken Abdeckung des Schachtsumpfes dicht neben der Schachtwand aufgestellt und das Steigrohr sowohl, als auch bei Druckpumpen das Gestänge in festen, an der Schachtzimmerung angebrachten Halslagern gehalten, wobei das Gestänge zwischen Rollen geführt wird. Die Verbindung des Gestänges mit der Betriebsmaschine wird über Tage durch einen Winkelhebel, das sogenannte „Pumpen“- oder „Kunstkreuz“ vermittelt. Bei größerem Abstände der Betriebsmaschine vom Schachte dient ein zwischen der Pleuelstange und dem Kunstkreuze eingeschaltetes, auf Pendelstützen liegendes Gestänge, das sogenannte „Feldgestänge“, zur Übertragung der Kraft auf die Pumpe.

b) In neuerer Zeit kommen mehr und mehr die unmittelbar wirkenden Dampfpumpen in Aufnahme. Sie werden unten neben dem Schachte aufgestellt, wo eine besondere Pumpenkammer für sie ausgebrochen wird. Beim Tunnelbau erfolgt die Speisung dieser Pumpen von einem über Tage stehenden Dampfkessel aus, wozu man zweckmäßig den Kessel einer Lokomotive benutzt. Die unmittelbar wirkenden Pumpen machen das schwerfällige Gestänge entbehrlich und haben deshalb vor den Gestängepumpen den Vorteil, daß man sie leichter und rascher einbauen kann; sie nehmen weniger Platz in Anspruch und es kann leicht eine zweite und dritte Pumpe nach Bedarf eingebaut werden; der abziehende Dampf derselben kann ferner zur Lüftung benutzt werden. Aus diesen Gründen sind die unmittelbar wirkenden Pumpen für die Zwecke des Tunnelbaues empfehlenswert, obgleich sie mehr Dampf verbrauchen, als gut gebaute Gestängepumpen. Eine Anlage dieser Art, wie sie in dem mehr erwähnten Schwelmer Tunnel in Betrieb war, ist in Fig. 5 u. 6, Taf. XI abgebildet. Sie bestand aus drei Harward Tylor'schen Dampfpumpen mit doppelt wirkenden Plungerkolben, von denen eine 24 cm Plungerkolben-Durchmesser und 38 cm Dampfkolben-Durchmesser, die beiden anderen je 13 cm Plungerkolben-Durchmesser und 23 cm Dampfkolben-Durchmesser hatten. Die Pumpen wurden aus den Kesseln zweier 15 pferdigen Lokomotiven gespeist, die gleichzeitig den Betrieb der Förderung bewirkten. Mit diesen Pumpen wurde in der Stunde eine Wassermenge von 90 cbm auf 31 m Höhe gehoben: Erwähnenswert ist noch, daß sie selbst unter Wasser arbeiteten. Bei einem plötzlichen, ungewöhnlich großen Zufluß stieg nämlich im Tunnelschachte das Wasser bis auf 4 m über die Sohle der Pumpenkammer, sodaß man den Schacht bis zum Eintritt trockenen Wetters auf mehrere Wochen verlassen mußte. Man hatte dabei die Vorsicht gebraucht, mit dem Einstellen der Pumparbeit die Dampfablaßhähne zu öffnen. Als man bei Wiederaufnahme der Arbeit langsam Dampf in die Pumpen einlief, gingen sie sofort an und pumpten ohne Unterbrechung den Schacht leer.

c) Noch einfacher in der Aufstellung und wesentlich billiger in der Beschaffung sind die Dampfstrahlpumpen von Giffard und die verbesserten von Friedmann, bei denen der Dampf ohne Vermittelung einer Zwischenmaschine zur Wirkung kommt. Sie werden in neuerer Zeit beim Bergbau für kleinere Abteufarbeiten vielfach angewandt. So z. B. auf der Steinkohlengrube Iduna bei Bochum in Westfalen, wo eine Giffard-Pumpe in einem donlägigen Schachte in der Stunde 20 cbm Wasser auf eine Höhe von 20 m hob, ferner auf der Bleierzgrube Aachen bei Ruppichteroth, auf der Steinkohlengrube Gräfin Laura bei Königshütte u. s. w.

Mit der Dampfstrahlpumpe von Friedmann kann man nach Angabe des Erfinders das Wasser auf eine Höhe heben:

bei einem Dampfüberdruck von 1 Atm. auf	8 m
„ „ „ „ 2 „ „	15 m
„ „ „ „ 3 „ „	21 m
„ „ „ „ 4 „ „	26 m
„ „ „ „ 5 „ „	31 m

und wenn man eine Pumpe einer zweiten zuheben läßt, kann man die Hebungshöhe vergrößern auf bezw. 15, 26, 36, 45 und 55 m. Trotz des erheblichen, mit der Dampfstrahlpumpe verbundenen Dampfverbrauches dürfte sich doch für sehr viele Fälle beim Tunnelbau deren Anwendung empfehlen und zwar ihrer großen Einfachheit und leichten Aufstellung wegen, die sie namentlich für die Abteufarbeiten geeignet machen.

d) Gleich einfach und für Tunnelbauzwecke empfehlenswert ist der Pulsometer von Hall und das Syphonoid von Hambruch; die erstgenannte Pumpe findet im Bergbau bereits vielfache Verwendung.

4. Wasserhebung beim Schachtabteufen. Sehr häufig ist man beim Abteufen eines Schachtes von der Tiefe, wie sie bei Tunnelbauten vorzukommen pflegt, in der Lage, das eintretende Wasser mit Hilfe der Förderkübel am Haspel zu bewältigen. Wird der Wasserandrang so groß, daß diese Art der Hebung die Förderung, die mit denselben Gefäßen zu geschehen hat, beeinträchtigt, dann ist man genötigt, eine der vorerwähnten Pumpen zu Hilfe zu nehmen. Die Pumpe wird in diesem Falle entweder an einem Flaschenzuge mit Ketten oder eisernen Stangen aufgehängt oder auch auf vorläufigen Lagern fest aufgesetzt. In beiden Fällen ist es zweckmäßig, das Saugrohr aus fernrohrartig ineinander schiebbaren Rohren oder aus starken Gummischläuchen herzustellen, um die Notwendigkeit der Tieferlegung bezw. den Umbau der Pumpe möglichst zu beschränken. Bei den Gestängepumpen ist dies wegen der notwendigen Verlängerung des Gestänges neben der des Steigrohres immer sehr umständlich, deshalb sind namentlich für diesen Zweck die durch unmittelbaren Dampfdruck betriebenen Pumpen vorzuziehen.

Bei starkem Wasserandrang wird die Abteufarbeit sehr schwierig und erfordert einen großen Aufwand an Zeit und Kosten. Unter solchen Umständen schreitet man beim Bergbau wohl zum Abbohren der Schächte, um Wasserzuzüsse für die Abteufarbeit unschädlich zu machen. Die betreffenden Einrichtungen sind indessen mit großen Kosten verbunden und aus diesem Grunde zur Anwendung beim Tunnelbau, woselbst die Schächte in der Regel nur vorübergehenden Zwecken dienen, nur in sehr seltenen Fällen geeignet. Wegen der bezüglichen Einzelheiten ist auf das V. Kapitel des vierten Bandes dieses Handbuchs (Abbohren von Schächten), 2. Aufl., zu verweisen.

### III. Beleuchtung.

§ 110. Beleuchtung in Arbeit befindlicher Tunnelstrecken. Zur Beleuchtung der unterirdischen Arbeitsstellen dient die tragbare Grubenlampe. Als Brennmaterial verwendet man für diese allgemein Rüböl. Die gebräuchlichsten Grubenlampen sind die sogenannte „Froschlampe“ mit einem flachen, länglichen, aus Eisenblech angefertigten Ölbehälter und die sogenannte „italienische“ Lampe, deren ebenfalls flacher, aber kreisrunder Ölbehälter aus Gußeisen hergestellt ist. Beide Lampen sind an langem Stiel befestigt. Sie sind im Handel zum Preise von 1,5 bis 2,5 M. zu haben. Eine gute Grubenlampe muß bequem zu handhaben sein, mit heller, nicht rufsender Flamme

brennen und muß einem ziemlich starken Luftzuge ausgesetzt werden können, ohne zu erlöschen. Die letztere sehr notwendige Bedingung hat bisher der Einführung von Petroleum, das seiner weit größeren Leuchtkraft und seines geringeren Preises wegen dem Rüböl vorzuziehen sein würde, hindernd im Wege gestanden, da es bislang nicht gelungen ist, eine Petroleumlampe anzufertigen, die in stärkerem Luftzuge gut brennt.

Es ist allgemeiner Gebrauch, daß jeder Tunnelarbeiter eine Grubenlampe selbst zu stellen und mit Öl gefüllt zur Arbeit mitzubringen hat. Der Verbrauch an Öl beträgt bei jeder Lampe in einer 12 stündigen Arbeitsschicht 100 bis 150 g, je nachdem das Licht in meist ruhiger Lage vor Ort verbleibt oder wie bei den Förderleuten bewegt werden muß.

Nach den heutigen Begriffen ist die Beleuchtung durch die einzelnen Grubenlampen sehr mangelhaft; man ist deshalb bemüht, für größere Arbeitsstellen, wie sie die Ausweitungs- und Mauerarbeiten bei Tunnelbauten bieten, diese durch stationäre Beleuchtung mit besserem Licht zu erleichtern. Beim Ochsenkopf-Tunnel (im Zuge der Eisenbahn von Dittersbach nach Glatz in Schlesien) hat man in dieser Richtung mit Hilfe größerer, mit Scheinwerfern versehenen Lampen recht gute Erfolge erzielt. Die zweckmäßigere Gasbeleuchtung wird in England und auch in einzelnen Gruben Deutschlands bei Saarbrücken und in Oberschlesien zur Beleuchtung der Anschlagörter und der Förderstrecken mit Vorteil benutzt. Im Tunnelbau hat sie nur versuchsweise Anwendung gefunden, und möchte sich hier bei dem rasch vorschreitenden vorübergehenden Betriebe und der damit verbundenen beständigen Änderung bezw. Verlängerung der Rohrleitung, sowie wegen der Gefährdung dieser durch die Arbeit kaum empfehlen. Mehr Aussicht auf Anwendung beim Tunnelbau dürfte die Acetylenbeleuchtung haben, mit der z. Z. Versuche am Simplon-Tunnel vorgenommen werden.

Die elektrische Beleuchtung ist bereits früher beim Bau amerikanischer und englischer Tunnel in den fertigen Tunnelstrecken verwendet worden; sie hat jedoch für die Beleuchtung der Arbeitsstellen beim Vortriebe und Ausbau bisher noch keinen rechten Eingang gefunden, wegen der hierbei erforderlich werdenden vielfachen Teilung des Lichtes und der leicht zu beschädigenden und für die Arbeit unbequemen Drahtleitungen, sowie in nassen Tunneln wegen der schwierigen Isolierung der Leitungen und der in den dunklen Räumen erschwerten Überwachung der Anlage. Diese Schwierigkeiten wachsen natürlich mit zunehmender Länge der Tunnel und ist deshalb bei dem Bau langer Tunnel bisher elektrisches Licht nicht zur Verwendung gekommen, wohl aber ist es bei kürzeren Tunneln angewandt worden.

Als Beispiel für eine elektrische Tunnelbeleuchtung sei diejenige des Milseburg-Tunnels (1888 und 1889) angeführt.<sup>109)</sup> Zur Beleuchtung des Tunnels dienten im allgemeinen Glühlampen, jedoch wurden in den fertigen Strecken bei Arbeiten in der Sohle, wie der Herstelling der Sohlengewölbe u. s. w. auch Bogenlampen verwendet, auch wurden diese mit großem Vorteil bei dem Verlegen des Oberbaues benutzt. Im Tunnel wurden bis zu 60 Stück Glühlampen von je 16 Kerzenstärken verwendet. Die Lampen waren parallel geschaltet, um gegebenenfalls einzelne Lampen, die nicht gebraucht wurden, ausschalten zu können.

Die Schwierigkeit, dem ständigen Wechsel in den Arbeitsstellen mit der elektrischen Beleuchtung folgen zu können, was eine fast unausgesetzte Veränderung und Verlängerung der Leitungsanlagen bedingte und zur Voraussetzung hatte, daß die Lampen in den einzelnen Arbeitsstellen leicht ausgeschaltet und eingehängt werden, daß ferner Verlängerungen und Verkürzungen der Hauptleitungen vorgenommen werden konnten, ohne die Beleuchtung in den übrigen Arbeitsstellen unterbrechen zu müssen, ist im wesentlichen beseitigt worden. Es geschah dies dadurch, daß in der Hauptleitung

<sup>109)</sup> Siehe Oberschulte. Zeitschr. f. Bauw. 1892, S. 71.

sowohl die Hin- wie die Rückleitung aus 20 bis 30 mm starken, 30 cm voneinander entfernten Eisenstangen, zwischen denen die Glühlampen eingeklemmt wurden, hergestellt war. Die von der Hauptleitung, die je nach dem Stand der Arbeiten in der betreffenden Tunnelstrecke im Scheitel des fertigen Gewölbes vorn in der First des Sohlenstollens angebracht war, nach den Arbeitsstellen in den Bogenorten und den Gewölbemauerungen abgehenden Umleitungen bestanden aus 5 mm starken Kupferdrähten. Die Hauptleitung wird hierdurch keineswegs unterbrochen, vielmehr nur gleichsam in ein anderes Geschofs versetzt. Die Beleuchtungskörper werden hierbei überall zwischen den Eisenstangen eingeklemmt, während die Umleitung dazu dient, den elektrischen Strom in die einzelnen Arbeitsstellen zu leiten, und die Zweigleitungen in den Bogenorten und den Gewölbemauerungen von der Hauptleitung unabhängig zu machen, sodafs daselbst neue Arbeitsstellen eingerichtet werden können, ohne die Hauptleitung unterbrechen zu müssen. Man hat hierbei auch versucht, vor Ort des Sohlenstollens elektrische Beleuchtung einzuführen, indem man für die Leitung zwei auf einer Rolle abwickelbare Kabel, für die Beleuchtung ein an einem fahrbaren Gestell angebrachtes Bogenlicht benutzte, das vor dem Sprengen in den Stollen zurückgefahren wurde; jedoch wurde wegen der Umständlichkeit des Verfahrens hiervon bald wieder Abstand genommen.

Die Länge der eisernen Leitungsstangen betrug 4 m; die Verbindung derselben erfolgte durch Klemmer mit Schrauben. Dem Leitungswiderstand entsprechend waren die Stangen im vorderen Ende des Tunnels stärker, 30 mm, gegen 25 und 20 weiterhin, genommen. Die Stangen wurden alle 2 m durch Haken gehalten, die in die Gewölbe eingelassen waren. Die Isolierung der Leitung gegen diese Haken erfolgte in der Weise, daß die Stangen an den Berührungsstellen mit einem Gummischlauch überzogen waren, der an den Enden umgestülpt war und so eine Art Wassernase bildete, die einen Übertritt des vom Gewölbe an den Haken herablaufenden Wassers nach der Leitung verhinderte. Der Schlauch war im übrigen mit Bindfaden umwickelt und zum Schutz gegen Fäulnis geteert. Die Befestigung und Isolierung der Leitung in den Bogenorten kam wegen der doch später vorzunehmenden endgiltigen Verlegung unter das Gewölbe in einfacher Weise zur Ausführung. Die zur Umleitung dienenden Kupferdrähte waren in ganzer Länge mit Gummischläuchen umhüllt, und zum Schutz gegen Beschädigung in die Nuten eines beiderseits genuteten Brettes gelegt.

Außer der elektrischen Beleuchtung des Tunnels erfolgte auch eine solche des Tunnelwerkplatzes, der Werkstätten und der Verwaltungsräume, sowie des Steinbruchs. Hierzu waren noch 8 Bogenlampen von 1500 Kerzenstärken und 9 Glühlampen von 16 Kerzenstärken nötig.

Der für die gesamte elektrische Anlage erforderliche Strom wurde von zwei Dynamomaschinen mit 37,5 Ampère Stromstärke beschafft.

Zu möglichst heller Beleuchtung größerer Arbeitsräume für kurze Zeit, wie sie z. B. zur Untersuchung von Tunnelbruchstellen notwendig wird, ist die Magnesiumlampe zu empfehlen. Sie besteht aus einem Scheinwerfer, in dessen Brennpunkte ein Magnesiumdraht verbrannt wird, der mit Hilfe eines Uhrwerks der Verbrennung entsprechend gleichmäfsig vorgeschoben wird. Der Preis einer Magnesiumlampe beträgt rund 45 M.; 10 m Magnesiumdraht dazu mit einer Brenndauer von etwa 25 Minuten kosten 2,5 M. Diese Beleuchtungsart ist also eine sehr kostspielige und daher nur für Ausnahmefälle geeignet.

## Litteratur,

### Lüftung, Wasserhaltung und Beleuchtung betreffend.

#### 1. Lüftung. a) Allgemeines.

Die Erdwärme und die Lüftung in großen Tunneln. Schweiz. Bauz. 1884, No. 5 u. 6. — Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1884, S. 116.

Die dem Gotthard-Tunnel während des Baues zugeführte Luftmenge. Wochenschr. d. Ver. deutscher Ing. 1882, No. 6. Über die natürliche Lüftung der Tunnel. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1882, S. 236.

Könyves-Tóth. Der Durchschlag des Gotthard-Tunnels und seine Vollendung. Zürich 1880.

Zur Frage der Erdwärme und der Lüftung großer Tunnel. Schweiz. Bauz. 1884, I. S. 25 u. 33. — Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1884, S. 116.

Die großen Alpentunnel und die unterirdische Wärme. Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1884, S. 712. — Glaser's Ann. f. Gew. 1884, Okt., S. 156.

Die Frage der Wärmezunahme in unterirdischen Räumen. Dingler's polyt. Journ. 1885, Bd. 255, S. 449.

- Stein. Notwendigkeit der Lüftung in Tunneln wegen des Rostens des eisernen Oberbaues durch die Raucheinwirkung. Stahl und Eisen 1888, S. 241. — Centralbl. d. Bauverw. 1889, S. 144.
- Pürzöl. Tunnelventilation mit Beziehung auf die drei großen Alpentunnel. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1891, S. 48.
- Hollock. Die Wärmezunahme nach dem Erdinnern, gemessen in einem 1372 m tiefen Schacht. Schweiz. Bauz. 1891, Bd. XVII, S. 94.
- Lüftung großer Tunnel. Nouv. ann. de la construction 1891, Juli, S. 109.
- Lüftung der Eisenbahntunnel in Städten. Railroad gazette 1891, S. 767, 793 u. 913.
- Lüftung der Tunnel. Ann. industr. 1892, I. S. 768. — Ann. des travaux publics 1892, S. 95.
- Lüftung der Tunnel durch Absaugevorrichtungen, Patent Anderson. Centralbl. d. Bauverw. 1892, S. 280 u. 568. — Baugewerkszeitung 1892, S. 469.
- Lüftung der Tunnel. Engineering 1896, S. 352. The Railw. Eng. 1889. — Génie civil 1899, Bd. 35, S. 263, 279, 297, 314, 328. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1900, S. 971, 992, 1006, 1031, 1387, 1539. — Revue industr. 1901, S. 318.
- Künstliche Tunnellüftung nach Saccardo. Schweiz. Bauz. 1895, Bd. 25, S. 21. — Zeitung des Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1895, S. 35; 1897, S. 303. — Génie civil 1897, Bd. 31, S. 350. — Schweiz. Bauz. 1897, Bd. 30, S. 121. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1898, S. 73. — Zeitschr. f. Transportw. u. Straßsenb. 1898, S. 568. — Südd. Bauz. 1899, S. 96. — Ann. f. Gew. u. Bauw. 1899, II. S. 79; 1900, I. S. 247. — Ann. d. mines 1900, Heft 2, S. 167. — Berg- u. hüttenmänn. Ztg. 1900, S. 428. — Revue industr. 1901, S. 24.
- Schachtlüftung nach Poech. Génie civil 1900, Bd. 36, S. 352.

### b) Lüftung ausgeführter Tunnel.

- Lüftung eines Tunnels bei Liverpool, London and North-Western Eisenbahn. Engineering 1871, Febr., S. 91; daselbst 1871, Bd. 31, S. 286.
- Lüftung der Tunnel der Untergrundbahn. Scientific american 1874, Sept., S. 100. — Engng., deutsche Ausgabe, 1875, No. 46, S. 542. Ferner: Engineer 1875, S. Jan. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1875, S. 174. — Eisenbahn 1875, S. 40.
- Morrison. Über die Lüftung langer Eisenbahntunnel. Engineer 1876, Jan., S. 40.
- Kreuter. Vorschläge zur Lüftung langer Tunnel. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1879, S. 149.
- Erscheinungen bezüglich der Lüftung des Gotthard-Tunnels in „Die Inbetriebsetzung desselben.“ Revue générale des chemins de fer 1882, Febr., S. 169. — Eisenbahn 1882, S. 89.
- Die Lüftungsverhältnisse im Gotthard-Tunnel. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 293.
- Ventilation eines Tunnels zu St. Louis. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 414. — Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1882, S. 286. — Engineering 1882, Aug. S. 183.
- Beobachtungen über die Lüftungsverhältnisse bei den Tunneln der Gotthard-Bahn. Schweiz. Bauz. 1883, I. S. 41 u. 47.
- Lüftungsanlage für den Baltimore- und Potomac-Tunnel der pennsylvanischen Eisenbahn in Baltimore. Engng. news 1892, II. S. 362. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1893, S. 693. — Génie civil 1894, Bd. 24, S. 351.
- Lüftung des Arlberg-Tunnels. Railroad gazette 1897, S. 240.
- Wagner, G. J. Lüftung längerer Eisenbahntunnel im Betriebe. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1898, S. 1349.
- Lüftung des Hoosac-Tunnels. Engng. news 1898, II. S. 273.
- Versuche der Tunnellüftung nach Saccardo im Gotthard-Tunnel. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1899, S. 459. — Engineering 1899, I. S. 854.
- Die Lüftungsanlage für den Gotthard-Tunnel. Schweiz. Bauz. 1899, Bd. 33, S. 216. — Centralbl. d. Bauverw. 1899, S. 310 u. 587. — Glaser's Ann. f. Gew. 1899, Bd. 45, Heft 11, S. 205. — Deutsche Bauz. 1899, S. 395. — Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899, S. 196. — Südd. Bauz. 1899, S. 231. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1899, S. 433. — Revue industr. 1899, S. 326. — Baugewerkszeitung 1899, S. 1489.
- Die Lüftung der Bostoner Untergrundbahn. Engng. record 1898, Bd. 38, S. 543. — Centralbl. d. Bauverw. 1899, S. 131. — Deutsche Bauz. 1899, S. 70. — Génie civil 1899, Bd. 34, S. 157.
- Die Lüftung der Wiener Stadtbahn-Tunnel. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1899, S. 1145.
- Künstliche Lüftung des Ronco-Tunnels. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1900, S. 998.

### c) Ventilatoren.

- Rittinger. Grubenlüftung nach einem neuen Prinzipie, ausgeführt bei mehreren belgischen Kohlengruben in der Umgebung von Mons. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1851, S. 25.

Bochumer Grubenventilatoren für Handbetrieb. *Polyt. Journ.* 1865, Jan. S. 91.  
 v. Hauer. Ventilationsmaschinen. Leipzig 1870.  
 Beschreibung der Ventilatoren des Gotthard-Tunnels. *Engineer* 1875, S. 378.  
 Dampfstrahl-Ventilatoren von Gebr. Körting, Hannover. *Polyt. Journ.* 1875, S. 287.  
 Dixon's Exhaustoren für die Lüftung langer Tunnel. *Scientific American* 1875, 7. Aug.  
 Luftgebläse für den Simplon-Tunnel. *Engineer* 1895, I. S. 163. — *Der prakt. Maschinenkonstrukteur* 1896, S. 63.  
 Divis. Neuere Luftkompressoren in Pribram. *Österr. Zeitung f. Berg- u. Hüttenw.* 1901, S. 394, 408 u. 420.

### 2. Wasserhaltung.

König. Die Pumpen. Köln 1869.  
 Hrabäck. Über die Wirkungsweise der Schachtpumpen. *Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing.* 1872, S. 2.  
 Knappert. Über unterirdische Wasserhaltungsmaschinen (Vortrag). *Berggeist* 1874, S. 115.  
 Pulsometer. *Deutsche Bauz.* 1876, S. 527.  
 Peters. Wasserhaltungsmaschinen für Bergwerke. *Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing.* 1879, S. 303.  
 Hilt. Über unterirdische Wasserhaltungsmaschinen. *Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing.* 1880, S. 647.  
 Neuere Vorrichtungen zum Heben des Wassers mittels Dampfes und Luft. *Polyt. Journ.* 1882, Bd. 243, S. 277.  
 Neue Abteufpumpe der Pulsometer-Engineering-Company, London. *Engineering* 1883, Aug. S. 125.  
 Trockenlegung nasser Tunnelgewölbe und Widerlager. *Centrabl. d. Bauverw.* 1890, S. 421 u. 430; 1891, S. 73 u. 84.  
 Entwässerungsanlagen des St. Clair-Tunnels. *Scientific American* 1891, II. S. 373.  
 Herstellung von Wasserröschchen (Tunnelkanälen) in Beton. *Centrabl. d. Bauverw.* 1894, S. 426.  
 Weitzenmüller. Elektrisch betriebene Wasserhaltung der Zeche Kaiserstuhl II bei Dortmund. *Glückauf* 1901, S. 625.

### 3. Beleuchtung.

Verwendung von aus rohem Petroleum bereitetem Gas zur Beleuchtung beim Bau des Galera-Tunnels in Peru. *Engineer* 1875.  
 Vorschläge, betreffend elektrische Beleuchtung des Gotthard-Tunnels. *Wochenschr. d. Ver. deutscher Ing.* 1881, S. 120.  
 Elektrische Beleuchtung des Hoosac-Tunnels. *Wochenschr. d. Ver. deutscher Ing.* 1881, S. 143.  
 Elektrische Beleuchtung des Milseburg-Tunnels. *Zeitschr. f. Bauw.* 1892, S. 47.  
 Beleuchtung des Tunnels von Batignolles auf der französischen Westbahn durch elektr. Lampen mit Scheinwerfern. *Railroad gazette* 1892, S. 233. — *Engng. news* 1892, I. S. 599.  
 Beleuchtung der Eisenbahntunnel. *Génie civil* 1893, Bd. 23, S. 283 u. 311.  
 Leuchtende Signale in Tunneln. *Génie civil* 1894, Bd. 24, S. 212.  
 Beleuchtung des Batignolles-Tunnels der Pariser Stadtbahn. *Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw.* 1899, II. S. 1276. — *Ann. f. Gew. u. Bauw.* 1899, II. S. 219.  
 Man vergleiche auch im vierten Bande dieses Handbuchs (2. Aufl.) das I. Kapitel: Wasserhebe- und -maschinen, insbesondere S. 28: Kolbenpumpen, S. 101: Strahlpumpen, S. 106: Pulsometer; ferner in der 1. Auflage das XVII. Kapitel: Lüftung von Tunnelbauten, und das XVIII. Kapitel: Elektrische Beleuchtung und sonstige Beleuchtungsmittel für Baustellen.  
 Ferner: Köhler. *Lehrbuch der Bergbaukunde.* Leipzig 1887 (W. Engelmann). S. 571: Wasserhaltung, S. 667: Wetterlehre, S. 742: Beleuchtung der Grubenräume.

## IV. Bearbeitung des Bauplanes.

**§ 111. Allgemeine Vorarbeiten.** Wie die Führung und das Entwerfen einer Bahnlinie überhaupt, so erfordert insbesondere die Anordnung und nähere Ausarbeitung eines Tunnelentwurfs mit Rücksicht auf die hohen Kosten eines solchen Bauwerkes ein sorgsames und erschöpfendes Studium aller einschlagenden Verhältnisse.

Eine ausgedehnte, gründliche Untersuchung des Geländes in allen jenen Richtungen, die in Bezug auf die Führung der Bahnlinie in Frage kommen, sowie gewissenhafte Veranschlagung und Vergleichung der für jede einzelne Richtung erforderlichen Bau- und kapitalisierten Betriebskosten ist geboten, um eine richtige Wahl zu treffen.

Dabei wird man in vielen Fällen und häufiger, als man im allgemeinen anzunehmen geneigt ist, zu dem Ergebnisse gelangen, daß sich eine Vergleichslinie mit

einem Tunnel, selbst bei ansehnlicher Länge des letzteren, günstiger stellt, als die Wettbewerbslinie, bei der die Anlage eines Tunnels vermieden wird. Wenn es sich, wie es meist der Fall ist, bei solchen Vergleichsentwürfen um Durchbrechung oder Überschreitung einer Wasserscheide handelt, so würde mit alleiniger Rücksicht auf den Betrieb eine Tunnellinie unter allen Umständen vorzuziehen sein, weil durch sie verlorene Steigungen ganz oder teilweise vermieden und außerdem entweder die Länge der Bahn oder die Steigungsverhältnisse, in der Regel aber beides gleichzeitig, vermindert werden; auch die Krümmungsverhältnisse der Bahn werden günstiger gestaltet. Es fragt sich daher nur, ob diese Betriebsvorteile nicht etwa durch grössere Baukosten überwogen werden und da zeigt sich denn nicht selten, daß die Ersparnis an Baukosten, welche die verminderte Baulänge mit sich bringt, allein schon hinreicht, die Herstellungskosten des Tunnels zu decken oder doch, daß der überschiefsende Teil der letzteren die Betriebsvorteile nicht überbietet. — Die Tunnelbautechnik hat z. Z. eine Ausbildung erreicht, daß man selbst sehr lange Tunnel, was Zeit und Kosten der Herstellung anlangt, nicht mehr ängstlich zu scheuen braucht und man wird gut thun, überall da, wo grössere Höhen mit verlorener Steigung zu überschreiten sein würden, die Frage einer Durchtunnelung des Bergrückens, selbst wenn dazu ein Tunnel von mehreren Kilometern Länge erforderlich sein würde, in ernste Erwägung zu ziehen.

Ein sehr lehrreiches Beispiel hierfür bietet die Bahnlinie von Altenkirchen nach Au, welche die Verbindung zwischen den Westerwaldbahnen mit der Köln-Gießener Bahn herstellt. Zwischen den beiden Orten, die in der Luftlinie gemessen rund 9 km voneinander entfernt sind, zieht sich die Wasserscheide zwischen dem Wiedbach- und dem Sieg-Thal als langgestreckter Höhenrücken in einer ziemlich gleichmäßigen Höhenlage von rund 100 m über dem Bahnhofe Altenkirchen und 170 m über dem Bahnhofe Au hin. Die ursprünglich für den Bau bestimmte, 17,5 km lange Linie überschritt diesen Höhenrücken mit einer verlorenen Steigung von 88,0 m, indem sie zwei längeren, bei Altenkirchen und bei Au mündenden Seitenthälern folgte. Die erheblichen Schwierigkeiten, die sich für diese Linie bei der eingehenden Bearbeitung infolge zahlreicher kurzer und tief eingeschnittener Nebenthäler herausstellten, gaben Veranlassung zur näheren Untersuchung einer Durchtunnelung der Wasserscheide, die trotz einer Länge des Tunnels von 1040 m ein überaus günstiges Ergebnis lieferte. Diese neue Linie war gegenüber der ersten um volle 5 km kürzer, wies 45 m weniger verlorene Steigung auf, hatte günstigere Steigungs- und Krümmungsverhältnisse und stellte sich außerdem nach dem vergleichenden Kostenüberschlage um etwa 350 000 M. billiger.

Auch wenn es sich um die Linie einer Thalbahn handelt, bei der starke Krümmungen des Wasserlaufs oder sonstige örtliche Verhältnisse darauf hinweisen, die Ausführung von Tunneln in Erwägung zu ziehen, hat man Untersuchungen anzustellen, die den vorhin besprochenen ähnlich sind. Namentlich bei Hauptbahnen haben auch in diesem Falle die kürzeren Tunnellinien nicht selten namhafte Vorteile vor längeren und stärker gekrümmten Linien ohne Tunnel.

Schon die im Vorstehenden erwähnten allgemeinen Untersuchungen, sodann aber die Aufstellung des Tunnelentwurfs an und für sich und der zugehörigen Kostenanschläge bedingen eine genaue Kenntnis des zu durchörternden Gebirges. Es ist in früheren Paragraphen bereits mehrfach darauf hingewiesen, wie schon die Wahl der anzuwendenden Tunnelbauweise abhängig ist von den zu erwartenden Gesteinsarten. In gleichem Mafse werden durch diese das Querprofil, die Zimmerung, die Mauerung und die Wasserhaltung, sowie die Kosten der Gewinnung bedingt.

Es wird daher zunächst eine genaue geologische Aufnahme des Gebirges notwendig; diese hat zu umfassen:

1. Die Art der auftretenden Felsarten,
2. die Mächtigkeit, den Zusammenhang und die Höhe derselben,

3. die Lagerung (Schichtung) und das Vorkommen von Störungen (Hebungen, Verwerfungen) und deren Einfluß auf die beobachtete Natur des Gesteins,
4. die Wasserführung.

Mit Bezug auf die letztere ist die etwaige Erstreckung der Schichten des Tunnelgebirges unter seitwärts liegende größere Niederschlagsgebiete zu beachten und zu verfolgen, von denen bald durch den Zusammenhang der Schichten, selbst durch Mulden hindurch, bald durch weithin streichende Verwerfungen und Störungen Wasser herbeigeleitet werden kann.

Für diese geologische Aufnahme wird die Untersuchung vorhandener Aufschlüsse in Steinbrüchen, Mergelgruben, sowie an entblößten Ufern der Bäche und Wege u. s. w. die besten Anhalte verschaffen. Bohrlöcher geben in zuverlässiger Weise Aufschluß über die Lagerung und Mächtigkeit der einzelnen Gesteinsarten, aber einen nur ungenügenden Anhalt über Geschlossenheit und Festigkeit des Gesteines und können demnach nur zur Ergänzung des in den erwähnten größeren Aufschlüssen Beobachteten dienen. Endlich noch ist das Zutagetreten von Quellen genau zu beobachten.

Die sämtlichen Ergebnisse dieser Untersuchungen sollen sodann mit dem an jedem Aufschluß beobachteten Streichen und Fallen in einer Karte nach Lage und Höhe zusammengetragen werden, derart, dafs aus diesen Unterlagen ein ins Einzelne gehendes geologisches Profil in der Tunnellinie entworfen und alle sonstigen Verhältnisse aus derselben erkannt werden können.

Ist diese Arbeit mehr Sache eines Geologen, so giebt die Beobachtung der äufseren Bergformen auch dem Ingenieur zahlreiche Anhaltspunkte zur Beurteilung des von ihm zu erwartenden Gebirges.

Wenn man nämlich auch die erste Entstehung irgend eines Höhenzuges u. s. w. und die damit zusammenhängende Aufrichtung der Schichten, die mit Bezug auf das Flötzgebirge doch ursprünglich unter Wasser und also nahezu horizontal abgelagert sind, sowie deren mannigfache Biegung und Faltung plutonischen Gewalten zuschreiben mufs, so ist doch die heute vorhandene Bergform — die der allerjüngsten vulkanischen Bildungen etwa ausgenommen — vorwiegend das Ergebnis einer lange wirkenden Zerstörung, einer Verwitterung und Abspülung, die in jene massigen, im Zusammenhange gehobenen Schichten tiefe Thalwege eingeschnitten hat.

Die gewaltigen Gebirgsmassen, die der Geologe über der heutigen Erdoberfläche ergänzen mufs, um den Zusammenhang gleichalteriger und gleichartiger, demnach auch gemeinsam gebildeter Gebirgsglieder wiederherzustellen, und so aus den verbliebenen Resten die Form der ursprünglichen Erhebung wieder zu ergänzen, sogenannte Luftsättel, sind also fortgespült. Dem Ingenieur, der beobachtet hat, welche ungeheure Massen dieser stetig wirkenden Auswaschung in Gestalt von Schlamm, Sand und Gerölle die größeren Ströme aus ihren Niederschlagsgebieten zu Thale fördern, ist diese Vorstellung geläufig.

Ist somit die heutige Bergform ein Ergebnis der Auswaschung, so mufs sich darin auch der Widerstand erkennen lassen, den die einzelnen Gebirgsglieder dieser entgegengesetzt haben und damit müssen gerade diejenigen Eigenschaften ersichtlich sein, die der Ingenieur kennen mufs: Mächtigkeit, Geschlossenheit, Härte und Beständigkeit der bergbildenden Gesteine. Man wird daher berechtigt sein, unter flachen, sanft gerundeten Bergzügen auf mildes Gebirge, unter steilen und schroffen Hängen auf harte kompakte Felsarten und aus dem Wechsel in der äufseren Gestaltung einer Berglehne auf einen Wechsel ihres Gesteins zu schliessen; wie man auch dort, wo in

sonst geschlossenem Gebirge eingerissene Schluchten und Joche sich zeigen, eine geringere Festigkeit und einen geringeren Zusammenhang, sei es infolge örtlicher Änderungen der mineralischen Zusammensetzung, sei es infolge von Lagerungsstörungen vermuten muß.

Auch der Geologe, dem gewisse Züge dieser Gebirgsphysiognomik als kennzeichnend für bestimmte Felsarten bekannt sind, wird diese Erscheinungen mit Vorteil benutzen, um nicht nur den Verlauf der einzelnen Gebirgsglieder zu verfolgen, sondern auch durch diese sich leiten zu lassen bei Bestimmung der Lage der für die geologische Bestimmung erforderlich werdenden Schurfe.

Nachdem durch die geologischen Untersuchungen des Geländes die erforderlichen Unterlagen geschaffen sind, kann zur weiteren Bearbeitung des Tunnelbauplanes geschritten werden. Er ist bildlich und schriftlich darzustellen und zu begründen, und hat zu umfassen:

1. Die genaue Feststellung der Länge des Tunnels, bzw. der Voreinschnitte,
2. die Bestimmung des Tunnelquerschnittes,
3. die Feststellung der Bauangriffspunkte,
4. die Anordnung und Einrichtung der etwa erforderlichen Schächte,
5. die Anordnung des Tunnelrichtstollens,
6. die Wahl der Bauweise und des Zimmerungssystems, sowie Bearbeitung ihrer Einzelheiten,
7. die Einrichtung für Wasserhaltung und Lüftung,
8. die dauernde Entwässerung des Tunnels,
9. die Wahl der Baumaterialien und die Anordnung der Lagerplätze,
10. den Arbeitsplan,
11. den Kostenvoranschlag.

In den folgenden Paragraphen sind einige dieser Gegenstände noch besonders besprochen, soweit nicht bereits in den vorstehenden Abschnitten dieses Kapitels ausreichendes Material für die Bearbeitung des Bauplanes enthalten ist.

**§ 112. Feststellung der Tunnellänge.** Nachdem durch Vergleich verschiedener Wettbewerbungsentwürfe bezüglich der geologischen und sonstigen Geländeverhältnisse, der leichteren oder schwierigeren Ausführbarkeit und namentlich der Kosten die Lage der Tunnellinie festgestellt worden, ist zunächst die Länge des Tunnels zu bestimmen, d. h. es ist die Lage der beiden Tunnelmundlöcher zu ermitteln. Man muß zu diesem Zwecke untersuchen, bis auf welche Tiefe es vorteilhaft ist, die Bahn in offenem Einschnitte zu führen, indem man die Kosten der Längeneinheit des Tunnels mit denjenigen der Erd- und Felsarbeiten für die Längeneinheit der im tiefer werdenden Einschnitt liegenden Bahn vergleicht. Es ergibt sich auf diese Weise die für die beiderseitigen Voreinschnitte zu wählende Länge und damit die Länge des Tunnels selbst. Die Einschnittstiefe, bei der die Kosten für Tunnel und Einschnitt gleich sind, schwankt etwa zwischen 14 und 20 m; sie ist naturgemäß nach den wechselnden Preisen für Lösen und Fördern der Massen und der Disposition zum Verbauen derselben sehr verschieden.

Unter Umständen ist indessen die Tunnellänge nicht lediglich von den Kosten abhängig, indem andere Verhältnisse eine Verlängerung des Tunnels bzw. eine Verkürzung der Voreinschnitte erforderlich machen können. Dies wird z. B. dann der Fall sein, wenn die Anlage des Tunnels überhaupt zu aufsergewöhnlichen Zwecken er-

folgt, wie etwa zur Sicherung kostbarer Anlagen, zum Schutz gegen Lawinen u. s. w.; ferner wenn die Beschaffenheit des Gebirges Rutschungen der Einschnittsböschungen befürchten läßt oder wenn die Einschnittsmassen bedeutend und weit fortzuschaffen sind, sodafs die gegebene Bauzeit eine Verminderung derselben wünschenswert macht u. s. w. Alle diese Verhältnisse sind lediglich örtlicher Natur und entziehen sich daher einer allgemeinen Betrachtung.

Es dürfte hier eine beiläufige Erwähnung der Begriffe: „lange“ und „kurze“ Tunnel am Platze sein. Sie sind natürlich sehr schwankend und verschieben sich wesentlich, sobald es sich um Vergleiche handelt und namentlich sobald die Bauzeit in Frage kommt. Abgesehen hiervon pflegt man nach dem gewöhnlichen Sprachgebrauche Tunnel bis zu 300 m Länge als „kurz“, solche von 300 bis 1000 m als mittlere Länge, solche von 1000 bis 3000 m als „lang“ und von mehr als 3000 m als „sehr lang“ zu bezeichnen.

**§ 113. Das Tunnelquerprofil.** Auf die Wahl der Gröfse und Form des Tunnellichtprofils ist einmal der für die Art der Benutzung erforderliche Raum und weiter der zu erwartende Gebirgsdruck von bestimmendem Einflufs.

In erster Hinsicht ist bei Kanaltunneln der für die Schiffe erforderliche Platz, bei Eisenbahntunneln das gegebene Normalprofil des lichten Raumes maßgebend, wobei gebührende Rücksicht auf den Umstand zu nehmen ist, dafs leicht geringe Verdrückungen des Gewölbes oder Ungenauigkeiten bei seiner Ausführung, wie auch in der Herstellung des Gleises vorkommen, die einen gewissen Spielraum über das Normalprofil hinaus erforderlich machen. Ferner ist bei Eisenbahntunneln in Kurven die durch Überhöhung der äußeren Schienen bedingte Profilerweiterung besonders zu berücksichtigen, zumal an der oberen Kante des Profils die seitliche Abweichung reichlich das Doppelte der Überhöhung beträgt.

Auf Grund des erforderlichen lichten Raumquerschnittes kann die Mindestgröfse des Tunnelprofils genau festgestellt werden — nicht so seine Form, die wie bemerkt, von der Gröfse und Richtung des Gebirgsdruckes abhängig ist, und bei einseitiger Richtung des letzteren streng genommen sogar unsymmetrisch ausfallen müfste; Richtung und Gröfse des Druckes im Innern des Gebirges sind aber niemals, mindestens nicht im voraus, auch nur annähernd zu bestimmen. Es ist daher unmöglich, für einen Tunnel ein Profil zu entwerfen, das den wirklich auftretenden Druckverhältnissen genau entspricht; nur bei ganz geringer Tiefe unter der Oberfläche, namentlich an den Tunnelausgängen, ist bisweilen eine annähernde Bestimmung möglich. An solchen Stellen werden denn auch thatsächlich unter Umständen unsymmetrische Mauerprofile ausgeführt. Es kann demnach eine theoretische Behandlung des Tunnelprofils unter verschiedenen Annahmen bezüglich des Gebirgsdruckes nur insofern von Wert sein, als sie für die möglichst zweckmäßige Profilform im allgemeinen einigen Anhalt bietet. Dies ist allerdings schon wichtig; wir wollen daher nicht unterlassen, ohne auf theoretische Erörterungen näher einzugehen, eine allgemeine Betrachtung über die statische Gestalt der Tunnelmauerung hier einzuflechten, soweit sie von den durch die verschiedene Gebirgsfestigkeit bedingten Druckrichtungen wesentlich beeinflusst wird.

Für gröfsere Tiefen und unter der Annahme gleichartiger Erdmassen haben W. Ritter (Die Statik der Tunnelgewölbe, Berlin 1879, S. 27–36) und Engesser (Über den Erddruck gegen innere Stützwände (Tunnelwände), Deutsche Bauz. 1882, S. 91) Theorien zur Berechnung des Gebirgsdruckes aufgestellt, ersterer unter Berücksichtigung der Kohäsion, also für festeres Material, letzterer für kohäsionslose Erde, dabei auf Versuche mit Streusand (von einem spez. Gewicht  $\gamma = 1,5$  und einem Reibungswinkel  $\varphi = 36^\circ 30'$ ) hinweisend.

Nach Engesser wird der Druck im Gebirge infolge einer „gewölbartigen Wirkungsweise der einzelnen Erdtheilchen“ seitlich bis an die Gleitflächen der an den Tunnelseitenwandungen sich bildenden und auf diese drückenden Erdkeile übertragen, sodafs für die First ein gewisser Mindestdruck entsteht, der bei grofsen Tiefen unter der Oberfläche unabhängig von dieser, dagegen nach dem Quadrat der Tunnelbreite sich ändert. Für die Seitenwandungen ergibt sich ein vom Firstdruck und den rechts und links sich bildenden Erdkeilen abhängiger Druck.

Sieht man ab von örtlichem Druck, der beispielsweise durch Klüftungen im Gebirge u. s. w. veranlafst sein kann, betrachtet man vielmehr das Gebirge als gleichartige Masse, so wird es auf den Scheitel der — symmetrisch gedachten — Tunnelwölbung im allgemeinen nur senkrechten Druck ausüben. Von hier aus, von dem Scheitel der Wölbung nach den Widerlagern und weiter nach der Sohle zu wird der rechtwinkelig auf die Mauerung wirkende Teil des Gebirgsdruckes desto gröfser sein, je mehr dieser letztere selbst von der Senkrechten abweicht, d. h. je gröfser seine Horizontalkomponente oder je milder (weicher) das Gebirge ist, je mehr es sich also dem „schwimmenden Gebirge“ bzw. dem Zustande des Wassers nähert. Im vollen Wasser würde der Druck überall rechtwinkelig gegen die äufsere Mauerleibung gerichtet (bei grofser Tiefe auch überall fast gleich grofs) sein; diesem Drucke würde also auch eine überall gleichmäfsig gekrümmte Querschnittsform — bei gleicher Druckgröfse die geschlossene Kreisform — als statisch richtige Gestalt entsprechen. Je fester das Gebirge, desto geringer wird die Horizontalkomponente des Gebirgsdruckes, desto mehr wird mithin der auf die Mauerung übertragene Normaldruck nach dem Widerlager und der Sohle hin abnehmen, bei ganz festem Gebirge der wagerechte Druck fast ganz verschwinden, bei völlig gleichmäfsigem Fels endlich mit dem senkrechten Druck zugleich zu Null werden; ein Fall, der hier nicht weiter in Frage kommt, da die Mauerung, wenn überhaupt noch nötig, dann nur als Schutzdecke gegen Verwitterung dient.

Die Theorie zeigt nun bekanntlich, dafs die Krümmung einer Stützzlinie in geradem Verhältnis steht zur (spezifischen) Gröfse der rechtwinkelig gegen sie gerichteten Aufsenkräfte, dafs der Krümmungshalbmesser also diesem äufseren Normaldruck umgekehrt proportional ist. Es mufs demnach — abgesehen von Tunneln unter Wasser — der Krümmungshalbmesser einer statisch zweckmäfsigen Tunnelform im Scheitel am kleinsten sein und nach der Sohle zu stetig zunehmen und zwar um so mehr, je fester das Gebirge ist, je weniger es also imstande ist, durch wagerechte Aufsendrücke im unteren Querschnittsteil die Drucklinie einwärts zu krümmen. Da nun die geringste Breite des inneren Raumes etwa in Kämpferhöhe durch den erforderlichen freien Querschnitt gegeben zu sein pflegt, so würde bei Innehaltung einer bestimmten Höhe nur übrig bleiben, das Tunnelprofil für festere Gebirgsarten nach unten parabolisch erheblich zu erweitern, was indessen schwierig ausführbar sein und jedenfalls die Kosten vermehren würde. Man zieht es deshalb vor, das Tunnelprofil zu erhöhen und auf diese Weise eine dem obigen Gesetz entsprechende Abnahme der Krümmung zu erzielen, ohne deshalb die untere Breite des Tunnels über die am Kämpfer vorhandene auszudehnen. Die hier abgeleitete wichtige Regel läfst sich folgendermafsen ausdrücken: Je fester das Gebirge ist, desto mehr soll das Tunnelgewölbe gegen die Halbkreisform überhöht sein. Eine Einschränkung der Profilbreiten im unteren Teile durch fortgesetzte Krümmung der Mauerung nach innen ist (abgesehen von der dadurch etwa bezweckten, jedoch meistens sehr wenig ersparenden Verminderung des Ausbruchs) somit nur dann begründet, wenn das Gebirge gegen den unteren Teil einen merkbaren Horizontalschub ausübt. Im anderen Falle ist die statisch richtigere senkrechte Endigung der Mauerung um so mehr erwünscht, als

dadurch ohne Mehrkosten ein für die Bahnerhaltung höchst willkommener Raum gewonnen wird.

Aus obigem erklärt sich die Thatsache, daß Tunnelgewölbe, die in mildem, druckhaften Gebirge Stand hielten, in anderen weniger druckhaften Stellen bei gleicher Form und Stärke doch zerstört wurden. Es fehlt an solchen Stellen der erforderliche äußere Horizontalschub des Gebirges im unteren Profile, infolge dessen die Stützlinie im Scheitel der äußeren und in der Gegend des Kämpfers der inneren Leibung nahe rückt. Die Wölbsteine werden demgemäß an den bezeichneten Punkten zerdrückt, während umgekehrt die Fugen an der anderen Leibung sich öffnen (vergl. Fig. 20, Taf. VIII).

Ein solcher Vorgang zeigte sich z. B. beim Bau des Ippenser Tunnels der Kreiensen-Holzwindener Bahn. Das Gebirge bestand dort im wesentlichen aus dünn-schichtigem, mit Mergellagen durchzogenen Muschelkalk. An einzelnen Stellen, wo der Mergel vorherrschte, trat größerer Seitendruck auf, der das Einziehen von Sohlengewölbsgurten notwendig machte, während an anderen Stellen bei Abnahme der Mergelzwischenlagen der Seitendruck geringer war, der Firstdruck also entsprechend mehr zur Geltung kam. Dies machte sich zunächst bemerkbar an den eisernen Tunnelrahmen, die hier Verwendung fanden, indem sich die Fugen zwischen den einzelnen Bogenstücken der Lehrbögen in dem oberen Teile derselben an der Innenseite und nahe oberhalb des Kämpfers an der Außenseite öffneten, sodaß bei scharfem Anziehen der Verbindungsschrauben deren Köpfe absprangen. An solchen Stellen geschah es dann, daß das aus 0,6 m starken, festen Sandsteinquadern bestehende Gewölbe zerdrückt wurde; an den Seiten lösten sich große Schalen ab, im Scheitel machte sich die vorgehende Zerstörung durch Risse in den Quadern bemerkbar, derartig, daß eine Auswechslung des Gewölbes notwendig wurde, während es bei gleicher Ausführung in milderem und im allgemeinen druckhafterem Gebirge desselben Tunnels sich haltbar erwies. Dies mußte als Beweis dafür gelten, daß die Stärke des Gewölbes an sich hinreichend bemessen war, dagegen die Gewölbeform den Druckverhältnissen in festerem Gebirge nicht entsprach, vielmehr bei den nach einwärts gekrümmten Widerlagern nicht Höhe genug besaß, um eine nachteilige Annäherung der Drucklinie an die äußere Leibung im Scheitel und an die innere Leibung oberhalb des Kämpfers zu verhindern. — Für die neu herzustellenden Gewölbestücke mußte die innere Leibungsform des Gewölbes beibehalten werden. Die demnach notwendige Profilüberhöhung mußte man daher durch die äußere Gewölbeform zu erreichen suchen. Dies geschah, indem man das Gewölbe nach dem Scheitel zu allmählich bis auf 1,3 m verstärkte, wie das in Fig. 15, Taf. VIII dargestellt ist. Damit erzielte man eine Gewölbeüberhöhung von 0,7 m, die sich als ausreichend erwies, sodaß nun die Drucklinie hoch genug hinaufsteigen konnte, ohne mit abnehmender Krümmung der inneren Leibung nahe zu kommen. Selbstverständlich hätte eine entsprechende Verminderung der Wölbstärke an der inneren Leibung stattfinden können, wenn man nicht durch die vorhandenen Lehrbögen u. s. w. gezwungen gewesen wäre, deren Form unverändert durchzuführen.

Im weiteren Verlaufe des Baues wurde derartigen Vorkommnissen dadurch vorgebeugt, daß in ähnlichen Gebirgstrecken gleich von vornherein das Gewölbe im Scheitel entsprechend verstärkt wurde, namentlich da, wo die eisernen Tunnelrahmen durch das Klaffen der Fugen der Lehrbögen ähnliche Druckverhältnisse erkennen ließen.

Dieses Beispiel zeigt, von welchem Vorteil es sein kann, während der Ausführung der bergmännischen Arbeiten die Einwirkung des Gebirgsdruckes auf die Zimmerung oder den eisernen Einbau

der Stollen zu beobachten und aus etwaigen Zerstörungen derselben, oder mit Hilfe der im Brückenbau neuerdings verwendeten Spannungs- und Dehnungsmesser, die Beanspruchung der Konstruktionsteile zu ermitteln, woraus sich die Belastungen berechnen lassen. Diesen Weg deutet W. Ritter (in seinen Schlufsbetrachtungen S. 36) an und Gröger<sup>110)</sup> hat ihn beim Bau des Ratkonya-Tunnels verfolgt, indem er während der Bauausführung aus der Einwirkung des Gebirges auf den Einbau des Stollens und der Ausbrüche mit Hilfe statischer Untersuchungen die aufgetretenen Gebirgsdrücke zahlenmäßig bestimmte und die gewonnenen Ergebnisse auf die Untersuchung der Standfestigkeit der Tunnelmauerungen anwandte. Gleichzeitig berücksichtigte er die Elastizität des Gewölbes und gelangte so zu Ergebnissen, die der Wirklichkeit besser entsprechen, als diejenigen der älteren Gewölbetheorien.

Nachstehende dem genannten Werke entnommene Tabelle giebt die ermittelten Gebirgsdrücke in Tonnen für das Quadratmeter ausminierter Fläche, wobei die eingeklammerten Zahlen eingeschaltete Werte bedeuten.

Tabelle XXII. Gebirgsdrücke in Tonnen für das Quadratmeter ausminierter Fläche.

No.	Gattung des Gebirges	Firstdruck		Sohlendruck		Druck in der Richtung der Schichten (durchschnittlich 1:25 geneigt)	
		Stollen	Vollausbruch	Stollen	Vollausbruch	Stollen	Vollausbruch
1	Festgelagerter Schotter u. Sand	(3)	(3)	—	—	—	—
2	Sandiger, gelber Lehm . . .	7	(7)	(4)	(4)	(3)	(3)
3	Trockener, fester blauer Tegel mit Glimmersand . . . .	28	36	16	(16)	(10)	(10)
4	Nasser, lockerer blauer Tegel mit Glimmersand . . . .	60	54	32	(32)	20	16

Aus diesen Werten ergibt sich, daß der Druck im Stollen und im Vollausschub für die Quadrat-einheit nahezu gleich groß ist, daß er im nassen Tegel etwa doppelt so groß, als im festen, trockenen Tegel ist und daß die Drücke in der First, in der Sohle und in den Seitenstößen sich verhalten wie

$$F: \frac{F}{2} : \frac{F}{3},$$

wenn  $F$  den spezifischen Firstdruck bedeutet.

Gröger gelangt durch seine Untersuchungen ausgeführter Tunnelbauten zu dem Schluss, daß das Verhalten der Tunnelmauerungen nicht von Zufälligkeiten abhängt, die sich einer richtigen Beurteilung entziehen, sondern daß es ganz naturgemäße, meist mit der Bauweise eng zusammenhängende Vorgänge sind, die sich auf dem Wege rechtzeitiger Beobachtung statisch beurteilen lassen. Hierzu bedarf es nur einer richtigen Berücksichtigung der bestehenden Verhältnisse, insbesondere auch der elastischen Formänderungen des Gewölbes innerhalb der erlaubten Grenzen, die dadurch gegeben sind, daß die Spannungsgrenze des Baumaterials nicht überschritten und der erforderliche Raum des Lichtprofils nicht beeinträchtigt wird.

Wenn nun auch aus dem gegebenen Beispiele vom Ippenser Tunnel hervorgeht, daß es notwendig werden kann, im einzelnen Falle das Profil der Tunnelmauerung dem veränderten Gebirgsdruck entsprechend abzuändern und wenn nach dem vorstehend angegebenen Verfahren auch die Möglichkeit vorliegt, während des Baues die Tunnelmauerung dem Gebirgsdrucke ziemlich gut anzupassen, so ist es dennoch weder wünschenswert noch möglich, von vornherein für jedes Gebirge ein besonderes Profil zu entwerfen, da die Druckverhältnisse in jedem Gebirge, ja fast in jedem Tunnel sehr verschiedenartig auftreten. Abgesehen also davon, daß diese Verschiedenartigkeit sich von vornherein gar nicht ermessen läßt, würde eine etwaige Berücksichtigung dieser jeweiligen Verhältnisse in einem und demselben Tunnel die verschiedenartigsten Gewölbprofile erheischen, was schon in Rücksicht auf die zu verwendenden Lehrbögen

<sup>110)</sup> J. Gröger. Die Statik der Tunnelgewölbe in druckreichem Gebirge. Prag 1881.

praktisch undurchführbar sein würde. — Es muß vielmehr zweckmäÙig erscheinen, nicht nur für einen einzelnen Tunnel, sondern auch für eine ganze Bahn ein bestimmtes Normalprofil für Tunnel zur Anwendung zu bringen und den verschiedenen Druckverhältnissen durch die Wahl der Gewölbstärke gerecht zu werden, abgesehen von besonderen Fällen, wo etwa sehr starken Druckes wegen auch die Form notwendig abgeändert werden muß. So wird auch in der Regel verfahren. Größere Bahnverwaltungen haben für Tunnelausführungen bestimmte Normallichtprofile aufgestellt, die untereinander allerdings eine große Verschiedenartigkeit zeigen, wie die auf Taf. VIII und Taf. IX gegebenen Beispiele erkennen lassen.

An ein Normalprofil, das für verschiedene Gebirgsarten Anwendung finden soll, ist aber um so mehr die Anforderung zu stellen, daß seine Form den allgemeinen statischen Verhältnissen entspricht. Nach der obigen theoretischen Betrachtung sowohl, als auch nach praktischen Erfahrungen muß die Gewölbeform gegen den Kreis überhöht sein; selbst für schwimmendes Gebirge ist eine, wenn auch in diesem Falle nur geringe, Überhöhung zweckmäÙig. Es erscheint daher im Interesse der Standfestigkeit des Gewölbes wünschenswert, dem Tunnelnormalprofile eine überhöhte Form zu Grunde zu legen. Bei der Bestimmung des Grades der Überhöhung kommt indessen auch der Kostenpunkt in Betracht, da mit der Überhöhung eine Vergrößerung des Profiles, mithin eine Vermehrung der zu lösenden Massen und der Auszimmerung verbunden ist. Wenn nun auch die Anwendung einer überhöhten Profilform theoretisch eine geringere Gewölbstärke zuläßt, sodafs damit die aus der angeführten Arbeitsvermehrung entstehenden Mehrkosten ausgeglichen werden könnten, so wird man praktisch eine bestimmte Einschränkung der Gewölbstärke in den einzelnen Fällen doch nicht als zulässig nachweisen können und in der That an den üblichen Stärken festhalten.

In Rücksicht auf die Kosten wird man daher die Profilüberhöhung möglichst gering halten müssen und es erscheint bei der nachweislichen Verteuerung gegenüber des nur unsicher anzugebenden erforderlichen Grades der Überhöhung die letztere nur in mäÙiger Weise gerechtfertigt, eine solche aber nach den obigen Ausführungen dringend wünschenswert. Aus diesem Grunde glauben wir den mäÙig überhöhten Profilen den Vorzug vor den halbkreisförmigen geben zu müssen.

Auf Taf. VIII ist eine Anzahl zweigleisiger Tunnelquerschnitte dargestellt, die sowohl für die halbkreisförmigen als für die überhöhten Bögen hervorragende, der Praxis entnommene Beispiele bieten. Unter den Profilen mit halbkreisförmigem Gewölbe sind das „deutsche“ Profil von Rziha (Fig. 5) und die Normalien der ehemals Rheinischen Eisenbahn (Fig. 6 u. 7) zu nennen, die eine vielfache Anwendung gefunden haben. Letztere sind in Fig. 6 für mildes und schwimmendes Gebirge mit Sohlengewölbe und Gewölbstärken von 0,5 m und 1 m, in Fig. 7 für feste Gebirgsarten angegeben. Ferner sind in Fig. 9, 10 und 11 die verschiedenen Profile des Gotthard- und des Kochemer Tunnels dargestellt. Fig. 14 zeigt das gleichfalls in ausgedehntem Mafse zur Anwendung gelangte mäÙig überhöhte sogenannte preussische Tunnelprofil (Köln-Giefsener, Rhein-Nahe, Eifel-Bahn u. s. w.); Fig. 8 u. 12 die kräftiger überhöhten Profile des Blechingley-Tunnels in England und des St. Louis-Tunnels in Frankreich, während Fig. 13 ein neueres Normalprofil für die Tunnel der Gotthard-Bahn (nicht für den großen Tunnel) darstellt, dessen Gewölbeform eine mäÙige Überhöhung mit vermindertem Krümmungsradius im Scheitel aufweist.

Was die Stärke der Gewölbe betrifft, so wechselt diese bei zweigleisigen Tunneln je nach den Druckverhältnissen zwischen 0,4 m bei festem Gebirge bis 1,2 bei schwimmendem (die Druckstrecke des Gotthard-Tunnels enthält Gewölbestärken bis 1,5 m). In den erwähnten, auf Taf. VIII dargestellten Profilen ausgeführter Tunnel sind die in den einzelnen Fällen zur Anwendung gekommenen Stärken eingetragen.

Die Form eines Lichtprofils für eingleisige Eisenbahntunnel<sup>111)</sup> gestaltet sich insofern günstiger, als sich bei dieser eine reichliche Profilüberhöhung von selbst ergibt. Es empfiehlt sich hier, über das Eisenbahnnormalprofil hinaus ringsum einen größeren Spielraum von 40 bis 50 cm zu belassen, um bei etwa nötig werdenden Ausbesserungen während des Betriebes für Lehrbögen den erforderlichen Platz zu behalten; ferner die unteren Teile der Widerlager, aufser bei Seitendruck, senkrecht zu gestalten.

In den Fig. 12, 13 u. 14, Taf. IX sind Beispiele für Profile ausgeführter eingleisiger Tunnel dargestellt, in denen die dabei zur Anwendung gekommenen Gewölbestärken angegeben sind.

Es seien hier noch die für den Simplon-Tunnel vorgesehenen Profile — im ganzen fünf — erwähnt, von denen Profil 1 keine Ausmauerung, die Profile 2 bis 5 dagegen Ausmauerungen von verschiedener Stärke, je nach dem auftretenden Gebirgsdruck, erhalten. Profil 2 für schwersten Druck erhält 35 cm Gewölbstärke, Profil 3 (s. Fig. 22, Taf. IX) für mittelstarken Druck hat 50 cm Gewölbstärke und 60 cm Widerlagerstärke in Höhe des Kämpfers. Profil 4, für starken senkrechten Druck bestimmt, hat bei sonst gleicher Gestaltung 60 cm Gewölb- und 70 cm Widerlagerstärke. Profil 5 endlich (s. Fig. 23, Taf. IX), für starken Seitendruck bestimmt, erhält auch noch ein Sohlengewölbe, dessen Scheitel mit Rücksicht auf den stets seitlich liegenden Entwässerungskanal unter dem einen Widerlager liegt.

Nebenbei sei hier bemerkt, daß die Widerlager bei den Profilen 2 und 3 in gewöhnlichem Bruchsteinmauerwerk, bei den Profilen 4 und 5 in Schichtenmauerwerk, die Gewölbe in Profil 2 in Schichtenmauerwerk, in Profil 3 in Moellonmauerwerk, und bei 4 und 5 in Quadermauerwerk zur Ausführung kommen sollen.

An der Gotthard-Bahn ist ein Teil der in den Auffahrtsrampen liegenden Tunnel in einer Weise eingleisig ausgeführt, die deren spätere Erweiterung für zwei Gleise gestattete. Nach diesem Vorbilde wurden für den Schee-Tunnel der Rheinischen Bahn von Barmen nach Wichlingshausen die in Fig. 16 u. 17, Taf. VIII dargestellten Profile entworfen und nebst dem einfach eingleisigen Tunnelprofil Fig. 18 („deutsches“ Profil nach Rziha) einer Kostenberechnung unterzogen. Nach dieser ergab sich das Profil Fig. 16 als das billigste, das Profil Fig. 17 als das teuerste und zwar würden die Kosten eines zweiten, einfach eingleisigen Paralleltunnels mit Profil Fig. 18 nach 30 Jahren (bei Zins auf Zins mit 5% pro anno) den Kosten der vorläufigen Ausführung nach Profil Fig. 17 einschließlic der späteren Erweiterung gleichkommen.

Bei dem 713 m langen Tunnel von Midrevaux, der zunächst eingleisig nach einem der Fig. 17, Taf. VIII ähnlichen Profil hergestellt und 6 Jahre später zweigleisig ausgebaut wurde, betrug die Kosten der ersten eingleisigen Anlage rund 1000 Frs. für das Meter. Würde der Tunnel von vorn-

<sup>111)</sup> Man hat die Eisenbahntunnel früher in der Regel ohne weiteres zweigleisig ausgeführt und erst in neuerer Zeit gelernt, die Frage, ob bei Tunneln und anderen Kunstbauten eine eingleisige oder eine zweigleisige Anlage am Platze sei, in jedem gegebenen Falle sachgemäß zu prüfen. Wegen der bezüglichen Erwägungen ist auf Kap. I dieses Bandes (Vorarbeiten), S. 80, namentlich aber auf die Verhandlungen über den Arlberg-Tunnel (s. das Litteratur-Verzeichnis am Schlusse dieses Kapitels) zu verweisen, die zu einem eingehenden Vergleiche des eingleisigen mit dem zweigleisigen Tunnel geführt haben, ferner auf: Grandjean und Williams. Der einspurige Zwillingstunnel, Techn. Mitteilungen d. schweiz. Arch.- u. Ing.-Ver. Hef 15, Zürich 1878.

herein zweigleisig ausgebaut worden sein, so hätten sich die Kosten um 163 Frs. öher gestellt; dagegen stellte sich der Kostenaufwand beim späteren zweigleisigen Ausbau auf 168 Frs. Die Kosten eines eingleisigen Tunnels von 5,50 m lichter Höhe waren zu 820 Frs. für das Meter berechnet worden. Die Kostenersparnis für das Meter betrug also in diesem Falle ohne Rücksicht auf die Zinersparnis  $2 \cdot 820 - (1000 + 168) = 472$  Frs.

Derartige erweiterungsfähige eingleisige Tunnel sind nur in festerem Gestein ausführbar, können aber in solchem vorteilhaft sein, wenn die Notwendigkeit der Herstellung eines zweiten Gleises in nicht zu langer Zeit zu erwarten steht. Bezüglich des Profils Fig. 16 ist zu bemerken, daß seine Erweiterung während des Betriebes erhebliche Schwierigkeiten machen dürfte und daher nur in solchen Fällen empfehlenswert erscheint, wenn die Notwendigkeit einer späteren Erweiterung überhaupt fraglich ist. Beim Bau der Gotthard-Bahn hat sich auch bereits gezeigt, daß die Ausführung des Profils Fig. 16 mit Mittelschlitz erheblich schwieriger ist, als das mit einseitiger Strosse. Das letztere ist demnach später dort vorwiegend zur Anwendung gebracht. Es bietet außerdem sichere Auflager für das Gewölbe, namentlich auch eine bessere Fördersole für die aus dem Firststollen kommenden Ausbruchsmassen.<sup>112)</sup>

Bei dem im Bau befindlichen Simplon-Tunnel hat man von vornherein auf den späteren Ausbau des Tunnels zu einem zweigleisigen verzichtet und für die zweigleisige Durchführung der Bahn zwei getrennte eingleisige Tunnel vorgesehen, ja für den späteren zweiten Tunnel schon jetzt den Sohlenstollen zur Ausführung gebracht.

Diese Anordnung ist als eine sehr zweckmäßige zu bezeichnen, da sie infolge des damit verbundenen Parallelstollens in erheblichem Maße zur Erleichterung der Förderung und der Lüftung für die Ausführung des Tunnels beiträgt.

Die Kanaltunnel erhalten seitlich einen Leinpfad von 1,0 bis 1,5 m Breite. Dieser ist bei den meisten bestehenden Kanälen massiv hergestellt. Dadurch wird aber der Wasserquerschnitt unnötig eingeschränkt und somit der Schiffswiderstand wesentlich vermehrt. Bei den Tunneln des St. Quentin-Kanals in Frankreich bei Riqueval (5670 m lang) und Tronquoy (1100 m lang) hat man daher im Jahre 1861 die beiderseits angelegten massiven Leinpfade beseitigt und durch Leinpfade, die auf eisernen Stützen ruhen, ersetzt, vergl. Fig. 24, Taf. VIII.

Auf dem Wiener Binnenschiffahrts-Kongress im Jahre 1886 wurden als Normalabmessungen für Kanaltunnel folgende Maße festgesetzt: Wasserspiegelbreite, ausschließlich desjenigen Teils des Wasserspiegels, welcher unter dem auf Einzelstützen ruhenden Leinpfad liegt, 7,5 m (0,5 m mehr als die Lichtweite der Schleusen zwischen den Thorsäulen), Wassertiefe = 2,5 (0,5 m mehr, als die Normalwassertiefe in freier Strecke).<sup>113)</sup>

Außer der genannten Fig. 24 sind auf Taf. VIII in den Fig. 23 u. 28, sowie in den Fig. 20 u. 21, Taf. IX noch einige Querschnitte von bestehenden Kanaltunneln als Beispiele gegeben.

<sup>112)</sup> Über die Querprofile der Eisenbahntunnel vergleiche man: Oppermann. Profile der Tunnel der Pyrenäen-Bahn. *Nouv. ann. de la constr.* 1865, S. 121. — Kauffmann. Über Tunnelformen und Tunnelmauerung. *Allg. Bauz.* 1868, S. 219. — Tunnelprofile für die Ausdehnung der Londoner Untergrundbahn nach Aldgate. *Engineer* 1876, Nov. S. 338. — Profile einiger Tunnel der Pennsylvania-Eisenbahn. *Engineering* 1877, April, S. 263. — Normalprofile der eingleisigen Tunnel der Paris-Lyon-Mittelmeer-Bahn. *Nouv. ann. de la constr.* 1880, S. 99. — Trautweiler. Apparat zur Aufnahme von Tunnel-Querprofilen. *Deutsche Bauz.* 1880, S. 413.

<sup>113)</sup> Man vergl. auch den dritten Band dieses Handbuchs (2. Aufl.), Kap. X (Schiffahrtskanäle), S. 86 und: Die Vogesen-Tunnel der Straßburg-Pariser Eisenbahn und des Rhein-Marne-Kanals. *Deutsche Bauz.* 1871, S. 123, ferner: Kanaltunnel in England. *Engineering* 1871, S. 196.

**§ 114. Bestimmung der Bauangriffspunkte.** Die Disposition für den Angriff eines Tunnelbaues ist im wesentlichen abhängig von der zur Verfügung stehenden Bauzeit und von der Länge des Tunnels, sowie der beiderseitigen Voreinschnitte; ferner mit Rücksicht auf etwaige Vermehrung der Angriffspunkte durch Schächte oder Seitenstollen von der äußeren Gestalt des über dem Tunnel liegenden Geländes und endlich von der Beschaffenheit des zu durchörternden Gebirges, insofern als diese auf den Baufortschritt an den einzelnen Angriffsstellen von hervorragendem Einfluss ist.

Die Bauzeit für einen Eisenbahntunnel entspricht in der Regel der für die Vollendung des Baues der übrigen Bahnstrecke erforderlichen Zeit; zuweilen kann jedoch auch die frühere Vollendung eines Tunnels von großer Bedeutung sein, z. B. dann, wenn Transporte von Baumaterialien für anderweitige Bauten der Bahnstrecke durch den Tunnel hindurch der Ersparung wegen wünschenswert sind, oder wenn die Verteilung der Erdarbeiten für den Bahnbau den Transport von Abtragsmassen durch den Tunnel erfordert u. s. w. In solchen Fällen, namentlich aber bei sehr langen Tunneln, wo bisweilen die Eröffnung einer ganzen Bahn, also auch die Höhe der Bauzinsen für diese, von der Fertigstellung des Tunnels abhängt, ist die Bauzeit thunlichst abzukürzen, und es kann unter Umständen für den Gesamtzweck eine erhebliche Verteuerung der eigentlichen Tunnelarbeit durch die zu ihrer Beschleunigung aufzuwendenden Kosten vorteilhaft, ja geboten erscheinen.

Als Mittel zur Beschleunigung eines Tunnelbaues sind anzuführen:

- a) Eine Steigerung der Arbeitsleistung selbst an den einzelnen Arbeitsstellen, z. B. durch die Verwendung einer möglichst großen Zahl von Arbeitskräften — oder in schiefsbarem Gestein durch Benutzung von Bohrmaschinen u. s. w.,
- b) Eine Vermehrung der Zahl der Angriffspunkte, und zwar entweder der unmittelbaren Angriffspunkte von der Erdoberfläche aus durch Schächte oder Seitenstollen, die sowohl zur Beschleunigung der Herstellung des Richtstollens, als auch der übrigen Tunnelarbeiten dienen können (vergl. S. 142); oder der mittelbaren Angriffspunkte, d. h. durch Aufbrüche für den Vollaussbruch von dem voreilenden Sohlenstollen aus.

Je nach Lage der erwähnten Verhältnisse ergeben sich nun für die verschiedenen in der Praxis vorkommenden Fälle die folgenden Bauangriffsweisen<sup>114)</sup>:

**1. Angriff von freien Mundlöchern aus.** Am einfachsten und billigsten gestaltet sich der Betrieb eines Tunnelbaues, wenn dieser lediglich von den bereits fertigen oder doch in genügender Sohlenbreite von beiden Seiten her bis zu den Tunnelmundlöchern ausgeführten Voreinschnitten aus betrieben werden kann. Dieser Fall kommt nur bei kurzen Tunneln mit kleinen Voreinschnitten und reichlicher Bauzeit vor und tritt z. B. dann ein, wenn auf der bezüglichen Bahnstrecke andere bedeutendere Bauten vorkommen, die eine längere Bauzeit erfordern, wie große Brücken, lange Tunnel u. dergl.

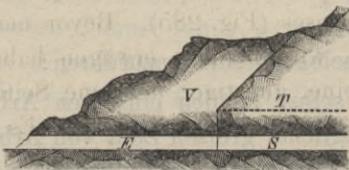
**2. Bauangriff mittels Einschnittstollen und Mundlochschächten.** In den meisten Fällen muß ein Tunnel schon vor der Fertigstellung der Voreinschnitte begonnen

<sup>114)</sup> Unter besonderen Umständen kommt es vor, daß Tunnel in offenen Einschnitten hergestellt werden, die man wieder ausfüllt, nachdem das Mauerwerk vollendet ist. Diese Art der Ausführung ist bei Erbauung von Untergrundbahnen und da, wo ein Tunnel Schutzmittel gegen Lawinestürze ist, mitunter am Platze. Über einschlägige Ausführungen der Untergrundbahn-Tunnel zu London vergl. man Eng. 1884, Juni, S. 507 und Forchheimer. Englische Tunnelbauten. Aachen 1884.

werden. Um zu diesem Zwecke möglichst rasch einen Zugang zur Stelle des Tunnelmundlochs zu schaffen, stellte man früher häufig zunächst einen schmalen Schlitz im Voreinschnitte her, der durch den ganzen Einschnitt bis zur Sohle reichte, und dessen senkrechte oder nahezu senkrechte Seitenwände nötigenfalls gegeneinander abgestützt wurden; oder man führte einen sogenannten „Rampenschlitz“ aus, bei dem nur ein Teil des Voreinschnittes in stark geneigter Sohle bis zum Tunnelmundloch einzuschneiden war. Beide Hilfsmittel sind jetzt veraltet; die Herstellung solcher Schlitzte wird verhältnismäßig teuer, zumal in milden Gebirgsarten, wo die Abstützung viel Holz erfordert. Dazu kommt, dafs, wenn die steilen Wände des Schlitzes nicht vollständig verzogen sind, sowohl die auf seiner Sohle liegende Förderbahn, als auch die Arbeiter selbst durch herabfallende Gebirgsmassen leicht gefährdet werden und dadurch Störungen aller Art im Baubetriebe entstehen können.

In neuerer Zeit ist an die Stelle des Einschnittschlitzes der „Einschnittstollen“ und an die Stelle des Rampenschlitzes der „Mundlochschaft“ getreten, bei welchen Anlagen die erwähnten Nachteile vermieden werden, und der Betrieb sich rascher, billiger und sicherer gestaltet.

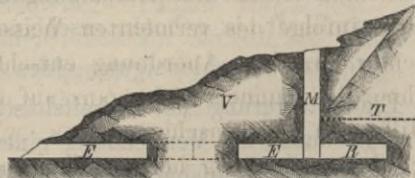
Fig. 283.



*E* Einschnittstollen.  
*M* Mundlochschaft.

*R* Richtstollen als Sohlenstollen.  
*S* Sohlenstollen.

Fig. 284.



*T* Tunnel.  
*V* Voreinschnitt.

Der Einschnittstollen (Fig. 283) wird in denselben Abmessungen wie der Richtstollen des Tunnels vom Fusse des Voreinschnittes aus in dessen Sohlenhöhe bis zum Tunnelmundloche vorgetrieben, um den Tunnelbau in Angriff nehmen zu können, ohne vorher den zeitraubenden Abbau oder die Aufschlitzung des Voreinschnittes abwarten zu müssen. Er ist also lediglich als eine Verlängerung des Tunnelrichtstollens zu betrachten und soll die Förderung, Wasserführung, Lüftung u. s. w. von dem letzteren bis zu Tage während des Baues vermitteln. Gleichzeitig bietet der Einschnittstollen ein Mittel, die Fertigstellung des Voreinschnittes durch Rolllöcher nach dem sogenannten „englischen Einschnittsbetriebe“ (vergl. Kap. III des vorliegenden Handbuchs, § 28) in zweckmäßiger Weise zu bewirken.

Bei langen Voreinschnitten kann die Ausführung des Einschnittstollens oft einen sehr erheblichen Zeitaufwand erfordern; alsdann bildet die Anlage eines Schachtes unmittelbar vor dem Tunnelmundloche meist einen kürzeren Weg, um einen Angriffspunkt für den Tunnelbau zu gewinnen (Fig. 284).

Ein solcher Mundlochschaft wird bis zur Sohle des Richtstollens hinab getrieben, und dient nicht allein zur Inangriffnahme des letzteren, sondern auch wesentlich zur Beschleunigung der Fertigstellung des Einschnittstollens, indem von dem Schachte aus nach beiden Richtungen (sowohl nach dem Innern des Tunnels als nach dem Voreinschnitte hin) Stollen vorgetrieben werden, sodafs nunmehr der Einschnittstollen von beiden Enden aus aufgefahren wird. Ist dieser zum Durchschlag gelangt, so pflegt man den Betrieb der Förderung, Wasserhaltung u. s. w. durch den Mundlochschaft ganz aufzugeben, da er sich weit kostspieliger stellt als durch den Einschnittstollen.

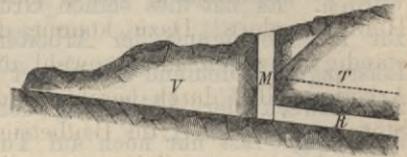
In weitaus den meisten Fällen gelangt eine der beiden vorstehend beschriebenen Anordnungen für die Inangriffnahme des Richtstollens zur Anwendung, und zwar vorwiegend die erstere. Nur ausnahmsweise wird von ihr abgewichen, so kann es z. B. bei außerordentlich langen Voreinschnitten vorteilhaft werden, zur beschleunigten Herstellung des Einschnittstollens außer dem Mundlochschachte noch weitere Hilfsschächte in dem Voreinschnitte abzuteufen. Andererseits kann es, wenn auch nur sehr selten, zweckmäßig sein, von der Anlage eines Einschnittstollens ganz abzusehen und während der ganzen Bauzeit des Voreinschnittes die Förderung, Wasserhaltung u. s. w. für den Tunnel lediglich durch den Mundlochschacht zu bewirken. Dieser Fall kann z. B. eintreten bei einem langen, in wasserreichem Gebirge auszuführenden Voreinschnitte, dessen Sohle in der Richtung nach dem Tunnel hin im Gefälle liegt, sodafs eine Vermehrung des Wasserzufflusses zum Tunnel durch die Stollenanlage zu befürchten sein würde. In solchem Falle können die Vorzüge des Stollenbetriebes gegenüber dem Schachtbetriebe aufgewogen bzw. übertroffen werden durch die erhöhten Kosten der Herstellung des Stollens und durch die Erschwerung der Wasserhaltung infolge des vermehrten Wasserzufflusses (Fig. 285). Bevor man sich indessen zu einer derartigen Anordnung entschliesst, wird man zu erwägen haben, ob die Inangriffnahme des Tunnels nicht ganz auf die eine, günstiger belegene Seite, nötigenfalls mit Hilfe von Bohrmaschinen u. s. w. beschränkt werden kann. Es wird sich dies häufig als zweckmäßig herausstellen (man vergl. § 116).

Reicht bei langen Tunneln die Bauzeit nicht aus, um den Bau allein von den beiden Mundlöchern aus rechtzeitig zu vollenden, so wird es erforderlich, weitere Angriffspunkte zu gewinnen. Dies kann erreicht werden durch Schächte (die man im Gegensatze zu den Mundlochschächten „Tunnelschächte“ nennt) oder unter Umständen durch Seitenstollen.

**3. Bauangriff mit Hilfe von Tunnelschächten.** Bei der Bestimmung der Lage eines Tunnelschachtes sind hauptsächlich zweierlei Rücksichten zu beobachten. Er soll erstens möglichst geringe Tiefe haben, d. h. auf der Gebirgsoberfläche an einem in möglichst geringer Höhe über dem Tunnel befindlichen Punkte angelegt werden. Zweitens soll von dem Schachte aus möglichst viel Tunnellänge aufgeschlossen werden, d. h. die Entfernungen von ihm bis zu den Mundlöchern oder bis zu den zunächst liegenden anderen Tunnelschächten sollen nach beiden Richtungen hin annähernd gleich groß sein, da nur diese Anordnung eine volle Ausnutzung der meistens sehr kostspieligen Schachtanlagen ermöglicht.

Bei dieser Frage spielt naturgemäfs die äufsere Bergform eine wesentliche Rolle; es ist dabei auch zu beachten, dafs der Schachtmund an einer Stelle angeordnet werden mufs, die den erforderlichen Raum für die Ablagerung der zu fördernden Berge bietet und auferdem für den Transport der nötigen Baumaterialien die Anlage eines angemessenen Zufuhrweges gestattet. Bei gleichzeitiger Berücksichtigung dieser verschiedenartigen Bedingungen kann unter Umständen die Anwendung eines geneigten (donlägigen) Schachtes empfehlenswert sein, namentlich wenn für den Schachtmund eines solchen ein besonders geeigneter, seitwärts gelegener Ort vorhanden ist.<sup>115)</sup> Diese

Fig. 285.



M Mundlochschacht. T Tunnel.  
R Richtstollen. V Voreinschnitt.

<sup>115)</sup> T. Fontenay. Erörterung der Vorteile geneigter Schächte. Nouv. ann. de la constr. 1863, Febr. S. 28.

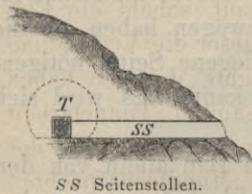
Anordnung bildet jedoch einen seltenen Ausnahmefall; in der Regel wird ein senkrechter Schacht vorzuziehen sein.

Zur Entscheidung, ob für einen bestimmten Fall ein Tunnelschacht anzulegen sei oder nicht, muß stets eine sorgfältige Vergleichung angestellt werden zwischen den Kosten, die für Anlage und Betrieb des Schachtes aufzuwenden sein würden und dem Werte der dadurch erzielten Beschleunigung des ganzen Baues.

In neuerer Zeit ist die Anwendung von Tunnelschächten immer seltener geworden. Es hat dies seinen Grund in den erheblichen Verbesserungen der Hilfsmittel zur Beschleunigung der Arbeiten an den einzelnen Angriffspunkten, durch welche die Leistungen bedeutend gesteigert werden können. Die Fälle, in denen Schachtanlagen zum Zweck der Abkürzung der Bauzeit erwünscht wären, beschränken sich daher heutzutage fast nur noch auf Tunnel von außerordentlich großer Länge. Bei solchen pflegt aber der Berg über der Tunnelsohle eine solche Höhe zu haben, daß der Schachtbau selbst eine sehr lange Zeit in Anspruch nehmen und daher der damit zu erreichende Zeitgewinn schließlic in keinem Verhältnisse zu den Kosten der Anlage und des Betriebes und zu der Gewähr des Gelingens überhaupt stehen würde.

#### 4. Bauangriff mit Hilfe von Seitenstollen. Die Anlage von Seitenstollen, d. h.

Fig. 286.



Stollen, die senkrecht zur Tunnelrichtung von der Seite her vorgetrieben werden (Fig. 286) ist nur bei Tunneln in Berglehnen möglich. Hier pflegt sie aber von großem Vorteile zu sein, weil diese Stollen meistens kurz ausfallen, daher ohne große Kosten in größerer Zahl hergestellt werden können und auch eine natürliche Entwässerung ermöglichen. Sie machen häufig einen Einschnitts-, unter Umständen selbst einen Richtstollen überflüssig.

5. Beschleunigter Baubetrieb mittels Aufbrüchen vom Sohlenstollen aus. Die meisten längeren Tunnel, bei denen eine Beschleunigung des Baubetriebes besonders wünschenswert wird, liegen in festeren Gebirgsarten, für deren Durchörterung in neuerer Zeit wesentlich vervollkommnete Hilfsmittel der Sprengtechnik zur Anwendung kommen können. Namentlich ermöglicht die Benutzung von Bohrmaschinen eine solche Steigerung des Baufortschrittes (dieser kann das Dreifache, ja noch mehr betragen, als bei Handbohrung), daß, wie bereits hervorgehoben, in den meisten Fällen die beiden Mundlöcher als Angriffspunkte ausreichen, und Tunnelschächte entbehrlich werden. Bisher stellt sich nun allerdings die Maschinenbohrung noch teurer als der gewöhnliche Handbetrieb, und wenn auch diese Mehrkosten wohl nie die Höhe der für Herstellung und Betrieb besonderer Schachtanlagen erforderlichen Kosten erreichen, so ist es doch immerhin wünschenswert, sie möglichst zu beschränken, wenn der zu erreichende Zweck dadurch nicht beeinträchtigt wird. Man kann dies dadurch ermöglichen, daß man nur den auf der Tunnelsohle anzulegenden Richtstollen mit Maschinenbohrung herstellt, die übrigen Ausbruchsarbeiten dagegen mit Handbohrung betreibt. Der erstere wird auf diese Weise so sehr beschleunigt, daß seine vorseilende Strecke Gelegenheit bietet, durch Aufbrüche (vergl. § 68, 77 u. 96) neue Angriffspunkte für die Ausführung der Vollausbruch- und Maurerarbeiten in beliebiger Anzahl zu schaffen. Durch diese große Zahl von Angriffspunkten ist es möglich, ohne nennenswerte Kostenvermehrung die Vollausbrucharbeiten nahezu gleichzeitig mit der Fertigstellung des Sohlenstollens zu vollenden. Bei guter Anordnung reichen hierzu nur wenige Monate nach erfolgtem Stollendurchschlag aus. — In geringerem Maße, aber mit weniger Kosten ist eine Be-

schleunigung des Sohlenstollenbetriebes behufs Herstellung von Aufbrüchen auch ohne Maschinenbohrung schon durch die Verwendung einer größeren Anzahl Arbeiter zu erreichen. Unter den gewöhnlichen Verhältnissen ist die auf diesem Wege zu erzielende Beschleunigung meistens schon genügend, und dementsprechend ist auch diese Betriebsart sehr verbreitet.

Für die Wahl der einen oder anderen der vorerwähnten Angriffsarten, und für die Bearbeitung eines genauen Bauplanes muß man der vergleichenden Rechnung bestimmte Baufortschritte zu Grunde legen, die bei den in Frage kommenden Stollen, Schächten und Vollausbrucharbeiten zu erwarten sind, und deren Höhe nach den Erfahrungen bei anderen, unter ähnlichen Verhältnissen erbauten Tunneln zu schätzen ist. Einen Anhalt hierfür mögen die Zusammenstellungen der erzielten Fortschritte für eine Anzahl ausgeführter Stollen, Schächte und Tunnel (s. Tab. XXIII bis XXV, S. 374 bis 379) bieten. — In der Tabelle XXVI (S. 380) sind zum bequemeren Gebrauch noch einige Durchschnittsergebnisse in übersichtlicher Form zusammengestellt.

**§ 115. Anordnung von Schachtanlagen.** In dem vorstehenden Paragraphen sind die verschiedenen Fälle angeführt, in denen Schächte beim Tunnelbau zur Anwendung kommen. Je nach der Dauer ihrer Benutzung unterscheidet man „Hilfsschächte“ und „Hauptschächte“. Die Hilfsschächte dienen nur zur Beschleunigung der Herstellung des Einschnitt- und Richtstollens; ihr Betrieb hört auf, sobald die Einschnittstollen fertig bzw. bei Hilfstunnelschächten, sobald mittels dieser die Verbindung mit dem fertigen Einschnittstollen hergestellt ist. Die Hauptschächte dagegen haben den Zweck, als Angriffspunkte für einen größeren Teil der gesamten Tunnelarbeit (Vollausbruch, Mauerung u. s. w.) zu dienen und pflegen daher bis zum Ende des Baues im Betriebe zu sein; sie sind ihrer Lage nach entweder „Mundlochschächte“ oder „Tunnelschächte“ (vergl. § 114).

In allen Fällen muß der Schacht eingerichtet sein: zur Förderung der Berge und der Baumaterialien, zur Fahrung (d. h. zur Beförderung der Arbeiter), sowie in der Regel auch zur Wasserhaltung und Lüftung. Für diese verschiedenen Zwecke teilt man denselben in mehrere Abteilungen, sogenannte „Trume“, die je nach der Benutzung „Fördertrume“, „Bremstrume“ (Abteilung für die mittels Bremshaspel herunter zu lassenden Baumaterialien), „Fahrtrume“, „Kunstrume“ (für Wasserhaltung) und „Wettertrume“ (für Lüftung) benannt werden. Die drei letzteren sind stets in einer Abteilung vereinigt, während die Trennung oder Vereinigung der Förder- und Bremstrume von der Größe und Dauer des durch den Schacht zu vermittelnden Betriebes abhängt. Bei Hauptschächten sind stets zwei getrennte Abteilungen für die Förderung der Berge und in der Regel eine besondere Abteilung für Materialien notwendig. Bei Hilfsschächten fällt die letztere aus und nur bei tieferen Schächten dieser Art (über 40 bis 50 m) sind zwei getrennte Fördertrume erforderlich.

Am zweckmäßigsten lassen sich diese verschiedenen Abteilungen in einer rechteckigen Querschnittsform des Schachtes anordnen. In Fig. 287 bis 289 (S. 380) sind drei Schachtprofile dargestellt<sup>116)</sup>, die den verschiedenen, vorstehend bezeichneten Bedürfnissen entsprechen. Fig. 287 zeigt den Querschnitt eines Hauptschachtes mit vier getrennten Abteilungen; Fig. 288 den Querschnitt eines tieferen Hilfsschachtes mit zwei Fördertrumen; diese Schachtanordnung setzt eine Förderung mittels Schalen voraus (vergl. § 48), die in der Regel durch Dampfmaschinen betrieben wird. Für die bei

[Fortsetzung s. S. 380.]

<sup>116)</sup> Rziha. Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst.

Tabelle XXIII. Zusammenstellung der bei verschiedenen Stollenbauten an einer

Bezeichnung und Lage des Stollens	Baujahr	Höhe	Breite
		m	m
1. Sohlenstollen des Altenbekener Tunnels. Altenbeken-Holzminden	1856—59	2,40	2,40
2. Sohlenstollen des Mont Cenis-Tunnels. Savoyen: Nordseite	1858—60	3,00	3,00
	1862	3,00	3,00
	1868—70	3,00	3,00
	1858—60	3,00	3,00
	1868—70	2,60	2,90
Südseite	1869—74	2,00	2,00
	1874—78	2,44	3,00
3. Sutro-Tunnel in Nevada	1872	2,50	2,60
4. Firststollen des Gotthard-Tunnels: Nordseite	1873	2,50	2,60
	1875	2,50	2,60
	1878	2,50	2,60
	1872	2,50	2,60
	1873	2,50	2,60
Südseite	1875	2,50	2,60
	1878	2,50	2,60
5. Sohlenstollen des Port Henry-Tunnels. New-York and Canada	August 1878	2,50	2,60
1874	1,80	3,05	
6. Firststollen des Spitzberg-Tunnels. Pilsen-Eisenstein-Deggendorf:			
von den Mundlöchern aus	1874—77	2,00	2,20
von den Schächten aus	1874—77	2,00	2,20
7. Sohlenstollen des Ender-Tunnels. Düsseldorf-Hörde	1875—78	2,40	2,80
8. Sohlenstollen des Kaiser Wilhelm-Tunnels bei Kochem	1874	2,70	3,50
Nordseite	1877	2,70	3,50
Südseite	1877	2,70	3,50
9. Sohlenstollen des Ratkonya-Tunnels. Temesvar-Orsova	1875—77	1,90	2,60
10. Voreinschnittstollen des Schwelmer Tunnels. Düsseldorf-Hörde	1876	2,50	2,80
11. Sohlenstollen des Schwelmer Tunnels. Düsseldorf-Hörde	1876—78	2,50	2,80
12. Sohlenstollen des Sonnstein-Tunnels im Salzkammergut	1876—77	2,50	2,60
13. Sohlenstollen des Altenburger Tunnels (Verbindungsbahn b. Altenburg)	1876—77	2,50	3,00
14. Firststollen des Tesch-Tunnels. Düsseldorf-Hörde	1877—78	2,50	2,50
15. Sohlenstollen des Teterchen-Tunnels. Metz-Saarlouis	1877—79	2,50	3,00
16. Querschlag. Zeche „Schlägel und Eisen“ in Westfalen	1877—80	2,20	2,50
17. Querschlag. Zeche „Pluto“ in Westfalen	1878—80	2,20	2,50
18. Querschlag I. Grube „Storch und Schöneberg“ bei Nieder-Schelden	1878—80	2,00	2,50
19. Querschlag III. Grube „Storch und Schöneberg“ bei Nieder-Schelden	1879—80	3,00	4,00
20. Firststollen des Dörrenberg-Tunnels. Düsseldorf-Hörde	1878	2,50	2,80
21. Firststollen des Schee-Tunnels. Barmen-Hattingen	1879	2,00	2,80
22. Firststollen des Freggio-Tunnels. Südliche Rampe der Gotthardbahn	1879—80	2,40	2,80
23. Firststollen des Prato-Tunnels. Südliche Rampe der Gotthardbahn	1879—80	2,40	2,80
24. Firststollen des Travi-Tunnels. Südliche Rampe der Gotthardbahn	1879—80	2,40	2,80
25. Firststollen des Piano Tondo-Tunnels. Südl. Rampe der Gotthardbahn	1879—80	2,40	2,80
26. Sohlenstollen des Krähberg-Tunnels. Eberbach-Erbach	1880	2,40	2,80
27. Querschlag auf der Zeche Rheinpreußen bei Homberg	1880—83	2,3	2,0
28. Sohlenstollen des Arlberg-Tunnels (westliche Seite)	1880—83	2,5	2,75
29. desgl. (östliche Seite)	1880—83	2,5	2,75
30. Richtstollen des Brandleite-Tunnels (Erfurt-Ritschenhausen). Östl. Seite	1881—83	2,5	2,8
31. Querschläge auf den Freiesleben- und Otto-Schächten der Mansfeld'schen Gewerkschaft	1883—87	2,0—2,3	2,0—2,5
32. Sohlenstollen des Tunnels bei Marienthal (Westerwald)	1885—86	2,25	2,35

Angriffsstelle durchschnittlich im Monat erzielten Fortschritte.

Gebirgsbeschaffenheit	Fortschritt an einem Angriffspunkt durchschnittlich m	Bemerkungen.
Gault und Grünstein.	22,5	Handbohrung mit Pulver bezw. Häuerarbeit.
Hilssandstein.	36,0	
Hils, Kalkmergel, Gipsletten.	34,5	
Wellenkalk und Gipsletten.	30,0	
Wellenkalk.	22,5—27,0	
Muschelkalk.	24,0	Handbohrung mit Pulver.
Dünnschichtiger Mergel.	22,5	
Schiefersandstein.	19,2	
Schiefersandstein.	32,5	
Kalkschiefer.	56,5 (max 79,5)	
Kalkschiefer.	20,2	Handbohrung mit Pulver.
Kalkschiefer.	65,4 (max 89,2)	
Trachyt, Konglomerat, Grünstein, Quarzit, vorherrschend Porphy.	21,0—33,0	
Gneisgranit.	68,1—94,7	
Gneisgranit.	21,0	
Gneisgranit.	57,0	Maschinenbohrung mit Dynamit (6 Maschinen vor Ort).
Gneisgranit.	97,8	
Serpentin.	109,0	
Glimmerschiefer.	25,4	
Glimmerschiefer.	62,3	
Glimmerschiefer.	104,7	Handbohrung mit Dynamit.
Gneis de Sella.	102,4	
Gneis de Sella.	(max 171,7)	
Kalkstein.	9,1—12,3	
Kalkstein.	9,1—12,3	
Gewundener und ebenflächiger Glimmerschiefer.	16,5 (max 32,0)	Handbohrung mit Dynamit. 2 Schächte.
Steinkohlenformation des westfälischen Kohlengebirges.	18,5—22,3 (max 31,0)	
Grauwackenschiefer.	25,0	Handbohrung mit Dynamit (max 36,0 in weichem Letten).
Grauwackenschiefer.	20,0—22,3 (max 31,0)	Handbohrung mit Dynamit.
Grauwackenschiefer.	98,5 (max 105,0)	
Grauwackenschiefer.	76,0 (max 80,0)	
Blauer Tegel, meist fett, stark blähend.	30,0 (max 46,0)	Maschinenbohrung mit Dynamit (6 Maschinen vor Ort).
Schwimmender Mergel.	5,0	
Verwitterbare Grauwacke und Kalkstein.	20,0—28,0	Handbohrung mit Dynamit.
Kompakter Dolomit und fester Kalkstein.	20,0—35,7* u. 51,0**	
Diluvialer Thon.	25,0 (max 38,0)	*) Handbohrung mit Dynamit — **) Rotierende Bohrmaschine mit Dynamit (1 Maschine vor Ort).
Schiefer mit vielen schaligen und kugelförmigen Absonderungen.	30,0 (max 37,0)	
Keuperformation, Mergelschiefer und Muschelkalk von verschiedener Härte.	38,0 (max 50,0)	Handbohrung mit Pulver und Dynamit.
Grobkörniger Sandstein.	12,5—17,5	
Fester, stellenweise quarzhaltiger Sandstein und Sandsteinschiefer.	75,0—110,0	Handbohrung mit Dynamit.
Sehr fester Grauwackenschiefer.	12,5—19,0	
Spatenstein.	50,0—60,0	Maschinenbohrung mit Dynamit (2 Maschinen vor Ort).
Fester Kalkstein.	30,0	
Kohlensandstein.	15,0	Maschinenbohrung mit Dynamit (2 Maschinen vor Ort).
Sehr kompakter Gneisgranit.	26,5	
Glimmerschiefer.	25,0—30,0	Handbohrung mit Dynamit.
Mittelfester Gneisgranit.	50,0	
Mittelfester Gneisgranit.	60,0	Maschinenbohrung mit Dynamit (3 Maschinen vor Ort).
Buntsandstein.	50,0	
Kohlensandstein, Sandsteinschiefer und Kohlschiefer.	110,0	Maschinenbohrung mit Dynamit (3 Maschinen vor Ort).
Glimmer- und Graphit-Schiefer.	22*) bezw. 87 (max 109)**)	
Quarzreicher Glimmerschiefer und Gneis.	125 (max 196)	*) Handbohrung. — **) Brandt'sche Drehbohrmaschine (2 vor Ort).
Grobe Konglomerate, Sandstein des Rotliegenden, kristallinische Porphyre.	142	
Festes Rotliegendes, abwechselnd m. Konglomeratschichten mit zahlr. Quarz-Einsprengungen.	111 (max 144)	Brandt'sche Drehbohrmaschinen (4 vor Ort).
Grauwackenschiefer.	70 (max 85)	
	103 (max 119)	Ferroux'sche Stofsbohrmaschinen (6, später 8 vor Ort).
		Brandt'sche Drehbohrmaschinen (3 vor Ort); Sprengung mit Dynamit und Gelatine.
		4 Frölich'sche Stofsbohrmaschinen vor Ort; Sprengung mit Sprenggelatine und Gelatinedynamit.
		2 Frölich'sche Maschinen vor Ort; Sprengung mit Gelatinedynamit.

Tabelle XXIV. Zusammenstellung der bei verschiedenen Schachtanlagen

Bezeichnung und Lage des Schachtes	Baujahr	Querschnitt im Lichten m
1. Hilfsschächte des Black-Rock-Tunnels. Philadelphia and Reading		
No. 1 . . . . .	1835	—
No. 2 . . . . .	1835	—
No. 3 . . . . .	1835	—
2. Hilfsschächte des Kingwood-Tunnels. Baltimore and Ohio		
No. 1 . . . . .	1849	—
No. 2 . . . . .	1849	—
No. 3 . . . . .	1849	—
3. Hilfsschacht des Broad-Tree-Tunnels. Wheeling-Branch . . . . .	1851	—
4. Hilfsschacht beim Tunnel Zebie No. II. Wien-Triest . . . . .	—	—
5. Hilfsschacht beim Tunnel Repole No. VI. Wien-Triest . . . . .	—	—
6. Hilfsschacht beim Tunnel Bollerswand. Wien-Triest . . . . .	—	—
7. Hilfsschacht beim Tunnel Wolfsberg. Wien-Triest . . . . .	—	—
8. Hilfsschacht beim Tunnel Kärtner-Kogel. Wien-Triest . . . . .	—	—
9. Hilfsschacht beim Tunnel Weber-Kogel. Wien-Triest . . . . .	—	—
10. Hilfsschächte des Hauenstein-Tunnels. Basel-Olten		
No. 1 . . . . .	1853—55	rund 3,7 m Durchmesser
No. 2 . . . . .	1853—55	do.
No. 3 . . . . .	1853—55	do.
11. Hilfsschacht des Stump House-Tunnels. Blue Ridge . . . . .	1855	2,75 × 4,9
12. 4 Hilfsschächte des Altenbekener Tunnels. Altenbeken-Holzminden . . . . .	1856	2,5 × 3,31
13. Hilfsschächte des Torsiac-Tunnels. Arvant-Massiac		
No. 1 . . . . .	1857	2,0 × 4,0
No. 2 . . . . .	1857	2,0 × 4,0
14. Hilfsschächte des Doe Run-Tunnels. Parkersburgh Branch		
No. 1 . . . . .	1863	—
No. 2 . . . . .	1863	—
15. Hauptschacht des Hoosac-Tunnels in Massachusetts . . . . .	1864—70	4,6 × 8,3
16. Westschacht des Hoosac-Tunnels in Massachusetts . . . . .	1865—66	1,8 × 2,4
17. Wetterschacht der Zeche „Dahlbusch“ in Westfalen . . . . .	1865—67	rund 2,52 m Durchmesser
18. Hilfsschacht des Brooks-Tunnels. Pittsburgh Branch . . . . .	1869	—
19. Hilfsschacht des Musconetcong-Tunnels in New-Jersey . . . . .	1872	2,5 × 5,0
20. Donlägiger Schacht ebendasselbst . . . . .	1872	2,5 × 6,0
21. Hilfsschächte des Spitzberg-Tunnels. Pilsen-Eisenstein		
No. 1 . . . . .	1874—75	2,1 × 6,0
No. 2 . . . . .	1874—75	2,1 × 6,0
22. Hilfsschächte des Schwelmer Tunnels. Düsseldorf-Hörde		
No. 1 . . . . .	1876—77	1,3 × 3,5
No. 2 . . . . .	1875	1,3 × 3,5

durchschnittlich im Monat erzielten Baufortschritte.

Tiefe m	Gebirgsbeschaffenheit	Fortschritt im Monat m	Bemerkungen
35,8	Grauwacke.	4,7	
37,0		7,6	
42,4		8,0	
54,9	Fester Thonschiefer und Sandstein.	8,5	
53,4		6,4	
50,9		7,3	
48,8	Thonschiefer.	8,0—10,0	
78,0	Harter Kalkstein und Sandstein, Wasser.	4,9	Handbohrung mit Pulver.
29,0	Harter Kalkstein.	7,0	Handbohrung mit Pulver.
37,6	Harter Kalkfels.	17,0	Handbohrung mit Pulver.
30,0	Schiefer mit Quarz. Wasser.	5,3	Handbohrung mit Pulver.
17,0	Fester Kalkstein.	26,6	Handbohrung mit Pulver.
35,5	Grauer Schiefer. Wasser.	6,6	Handbohrung mit Pulver.
170,0	Sandmergel und Rogenstein, Wasserzufluß sehr gering.	15,9 (max 23,4)	
200,0	Keupermergel.	13,4	Wurde verlassen bei 90 m Tiefe wegen Wasserandrang, 0,27 cbm in der Minute. Unvollkommene Pumpen.
124,0	Muschelkalk.	12,4 (max 20,7)	Bis 115 m Tiefe, dann Fortschritt nur 6,3 m wegen starken Wasserandranges. 0,4 cbm in der Minute.
48,8	Glimmerschiefer und Gneis	4,5	
—	Gault, Wellenkalk, Gipsletten, Keuper und Muschelkalk	10,4 durchschnittlich für alle 4 Schächte	Handbohrung mit Pulver.
59,0	Granit mit wenig Wasser.	30,0	Berge und Wasser konnten mit einem Pferdägöpel gehoben werden.
62,5			
20,0	Sandstein und Schiefer.	12,3	
32,0		9,5	
310,0	Glimmerschiefer, Wasserzufluß 0,5—0,9 cbm in der Minute.	6,5 (max 11,6)	Handbohrung mit Pulver.
80,0	Granitartiger Gneis.	5,0 (max 10,4)	Handbohrung mit Pulver.
110,0	Graugrüner und weißer Mergel, tertiärer Grünsand.	5,0	Nach dem System Kind-Chaudron hergestellt. Es wurden im Monat abgebohrt 7 m. Der angegebene Fortschritt von 5 m bezieht sich auf die Fertigstellung des ganzen Schachtes.
32,3	Thonschiefer.	7,5	
34,0	Trümmergestein, sehr drückend.	30,0	
91,0	Sehr drückender Boden und Kalkstein.	8,0—12,0	Neigung des Schachtes 30°.
128,0	Sandiger Lehm und fauler Felsen.	22,0	Handbohrung mit Dynamit.
	Harter Glimmerschiefer mit Wasser.	9,0	
112,0	Harter Glimmerschiefer mit Wasser.	13,4	
31,5	Fauler Grauwackenschiefer mit wenig Wasser.	12,0	Handbohrung mit Dynamit.
	Desgl. mit sehr viel Wasser, 3,0 cbm in der Minute.	2,5	3 doppelt wirkende Dampfpumpen.
	Thonboden ohne Wasser.	30,0	
32,0	Fester Kalkstein ohne Wasser.	12,0	Handbohrung mit Dynamit.

Tabelle XXV. Zusammenstellung der bei Tunnelbauten an einem Angriffspunkt

Name des Tunnels	Eisenbahnlinie	Baujahr	Länge des Tunnels m
1. Malomirsch A . . . . .	Brünn-Prag.	—	49
2. Bilowitz I . . . . .	desgl.	—	168
3. Bilowitz II . . . . .	desgl.	—	261
4. Bilowitz III . . . . .	desgl.	—	204
5. Adamsthal IV . . . . .	desgl.	—	63
6. Adamsthal V . . . . .	desgl.	—	58
7. Novhrad . . . . .	desgl.	—	450
8. Muslau . . . . .	desgl.	—	221
9. Triest . . . . .	desgl.	—	234
10. Brittof . . . . .	Wien-Triest.	—	416
11. Zebie II . . . . .	desgl.	—	512
12. Repole VI . . . . .	desgl.	—	528
13. Semmering, Haupttunnel . . . . .	desgl.	—	1400
14. Pettenbach . . . . .	desgl.	—	180
15. Bollerswand . . . . .	desgl.	—	240
16. Wolfsberg . . . . .	desgl.	—	400
17. Kärtner-Kogel . . . . .	desgl.	—	199
18. Eichberg . . . . .	desgl.	—	94
19. Weber-Kogel . . . . .	desgl.	—	356
20. Altenbeken . . . . .	Altenbeken-Holzminden.	1856—59	1630
21. Naensen . . . . .	Kreienzen-Holzminden.	1861—63	879
22. Ippensen . . . . .	desgl.	1862—63	206
23. Voleclair . . . . .	Massiac Murat.	1864—66	165
24. Talizat . . . . .	desgl.	1864—66	88
25. Lengerich . . . . .	Venlo-Hamburg.	1868—71	753
26. Petrovitz . . . . .	Chotzen-Halbstadt-Braunau.	1872—74	290
27. Zimmeregge . . . . .	Bern-Luzern.	1873—75	1135
28. Dettenberg . . . . .	Schweizerische Nordostbahn.	1874—76	1800
29. Spitzberg . . . . .	Pilsen-Eisenstein-Deggendorf.	1874—77	1748
30. Ende . . . . .	Düsseldorf-Hörde.	1875—78	950
31. Ratkonya . . . . .	Temesvar-Orsova.	1875—77	898
32. Schwelm . . . . .	Düsseldorf-Hörde.	1876—79	740
33. Tesch . . . . .	desgl.	1876—78	520
34. Kaiser Wilhelm . . . . .	Bei Kochem.	1877	4200
35. Teterchen . . . . .	Metz-Saarlouis.	1877—79	1075
36. Dörrenberg . . . . .	Düsseldorf-Hörde.	1877—78	170
37. Altenburg . . . . .	Verbindungsbahn bei Altenburg.	1877—78	375
38. Marienthal . . . . .	Altenkirchen-Au.	1885—86	1040

durchschnittlich im Monat erzielten Fortschritte beim Vollaussbruche.

Gebirgsbeschaffenheit	Fortschritt im Monat an einem Angriffspunkt m	Bemerkungen
Harter Syenit.	7,9	Handbohrung mit Pulver.
Harter und zerklüfteter Syenit.	6,4	
Syenit, Thon, Lehm.	7,7	
Syenit, teils hart.	7,5	
Syenit, sehr hart.	5,7	
Syenit, sehr hart.	6,7	
Syenit, Thon, Lehm, Wasser.	4,9	
Sandiger Kalk.	5,8	
Thonhaltiger, harter Sandstein	7,3	
Harter Kalkstein	6,4	
Harter Kalkstein und Sandstein, Wasser.	6,3 v. Schacht aus 1,6	Österreichische Methode
Harter Kalkstein.	4,7 v. Schacht aus 2,2	
Quarz, Dolomit, Kalkstein, Wasser.	8,0 " " 4,9	
Chloritschiefer.	9,3	do.
Harter Kalkfels.	9,0 v. Schacht aus 4,7	Deutsche Methode. Handbohrung mit Pulver.
Schiefer mit Quarz, Wasser.	2,0 " " 4,6	
Fester Kalkstein.	7,1 " " 5,6	
Quarziger Schiefer, Wasser.	2,3	Deutsche Methode. Handbohrung mit Pulver.
Grauer Schiefer, Wasser.	5,7 v. Schacht aus 4,9	
a. Gault und Grünstein.	10,4	
b. Hilssandstein.	12,0	
c. Gipsletten.	8,0	
d. Wellenkalk.	10,0—13,0	
e. Encriniten-Kalk.	9,5	
f. Mergeliger Muschelkalk.	12,0	
g. Mergeliger Muschelkalk mit viel Wasser.	2,5—5,0	
h. Encriniten- und Muschelkalk.	18,0	
Vorwiegend Keupermergel.	7,5	Österreichische Methode mit R z i h a 'scher Eisenrüstung. Handbohrung mit Pulver.
Dünngeschichteter Kalkstein und Mergel.	8,3	
Granit ohne Wasser.	8,4—12,5	Eingleisig.
Granit ohne Wasser.	10,2—14,5	Eingleisig.
$\frac{1}{3}$ Plänermergel, $\frac{2}{3}$ Plänerkalk.	22,0	Österreichische Methode.
Fester blaugrauer Plänerkalk in mächtigen Schichten.	13—14,5	Österreichische Methode.
Molassesandstein.	44,5	Eingleisig. Belgische Methode.
Letten mit Sand.	21,0	
Molassesandstein.	10,0—12,0	Österreichische Methode mit Centralstrebenzimmerung.
Gletscherschutt, loser Kies und Schwimmsand.	3,5—7,0	
Gewundener und ebenflächiger, sehr fester Glimmerschiefer.	von den Schächten aus 14,2—14,9	2 Schächte. Österreichische Methode.
	von den Mundlöchern aus 18,2—21,6	
Steinkohlenformation des westfälischen Kohlenreviers, blähender Schieferthon mit Sandsteinbänken.	5,0—6,0	Englische Methode mit M e n n e 'scher Längsträgerzimmerung.
Blauer Tegel, fett, stark blähend.	21,0 (max 43,5)	Eingl. Durchweg Sohlengewölbe. Ausbruchfläche 60 qm. Österr. Meth. m. Centralstrebenzimmerung.
Verwitterter Grauwackenschiefer und Kalkstein.	23,5	Österreichische Methode mit Centralstrebenzimmerung.
Schiefer mit vielen schaligen und kugeligen Absonderungen.	Bogenausbruch 30,0 (max 54,0)	Belgische Methode.
	Bogenmauerung 35,0 (max 45,0)	
	Strossenaushub 35,0 (max 55,0)	
	Strossenmauerung — (max 95,0)	
Grauwackenschiefer.	17,7	Österr. Methode, teils mit österr., teils mit Centralstrebenzimmerung.
Mergelschiefer, Kalkstein.	20,0—22,0	Österr. Meth. m. Centralstrebenzimm. 2 Schächte. Handbohrung mit Dynamit und Sprengpulver.
Fester Kalkstein.	Vollaussbruch und Mauerung des Bogens 31,0	Belgische Methode.
Diluvialthon.	8,0	Österr. Meth. mit R z i h a 'scher Eisenrüstung.
Grauwacken- und Thonschiefer.	45,0	Belgische Methode.

Tabelle XXVI. **Baufortschritte im Monat,**  
die bei Bearbeitung von Bauentwürfen zu Grunde gelegt werden können.

Gebirgsart	Beim Stollenvortrieb		Beim Schachtabteufen		Beim Vollausbuch
	Mit Handarbeit	Mit Maschinenbohrung	Mit Handarbeit	Mit Maschinenbohrung	Mit Handarbeit
	m	m	m	m	m
Schwimmend . . . . .	5—8	—	2—5	—	2—5
Mild . . . . .	10—30	—	5—10	—	5—10
Gebräch . . . . .	20—40	70—100	10—20	20—40	10—15
Fest . . . . .	15—20	70—100	10—15	20—40	20—30
Sehr fest . . . . .	10—15	70—100	5—10	20—40	20—30

Hilfsschächten von geringer Tiefe übliche Haspelförderung ist die Schachtanordnung Fig. 289 die gewöhnliche. — Die Fahrtrume werden in der Weise eingerichtet, daß zum Ein- und Ausfahren der Arbeiter in bestimmten gleichmäßigen Höhenabständen horizontale Bühnen eingelegt und untereinander durch Leitern verbunden werden, wie in den Figuren dargestellt.

Fig. 287 bis 289. *Größe und Einteilung der Schachtquerschnitte.*

Fig. 287. *Hauptschacht.*

Fig. 288. *Hilfsschacht.*

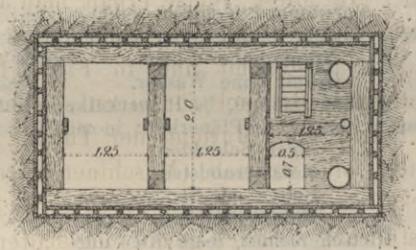
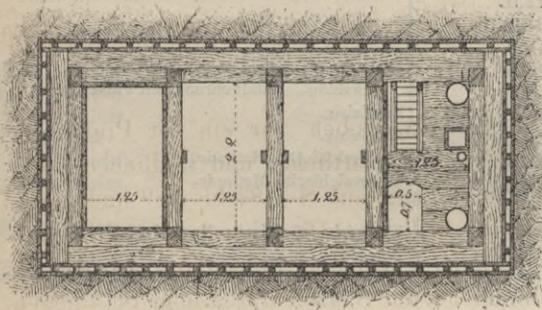
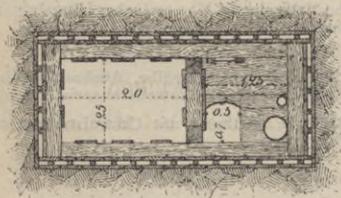


Fig. 289.

*Hilfsschacht von geringer Tiefe.*



Was die Größe der Schächte anbelangt, so ist diese von der Größe der zu fördernden Massen abhängig, unmittelbar also von der Größe der zu verwendenden Fördergefäße. In den nebenstehend dargestellten Schachtquerschnitten sind die in der Regel für die Lichtabmessungen der verschiedenen Schachtgattungen zu wählenden Maße angegeben.

Die Schächte werden entweder in der Axe des Tunnels angelegt oder seitlich davon; in letzterem Falle wird die Verbindung mit dem Richtstollen durch einen Querschlag hergestellt. Diese namentlich in Frankreich übliche Anordnung bietet den Vorzug, daß der Verkehr und die Transporte in der Längsrichtung des Tunnels durch den Betrieb der Schachtförderung nicht gehindert werden, dagegen können die Förderwagen nur mit Hilfe einer Drehscheibe in den Schacht gelangen. Letztere Erschwerung der Förderung überwiegt in der Regel jenen Vorzug. Die in Deutschland und Österreich verbreitete Anordnung der Schächte in der Tunnelaxe (und zwar mit der langen Seite rechtwinkelig zur Tunnelrichtung, um das unmittelbare Einfahren der Tunnelwagen in die Förderabteilungen zu

ermöglichen) bietet weiterhin noch die Vorteile der billigeren Herstellung, da ein Teil des Schachtes in das Tunnelprofil fällt und der Querschlag erspart wird, sowie einer Erleichterung der Absteckung im Tunnel durch die im Schacht unmittelbar von der Erdoberfläche her gegebenen Punkte der Tunnelaxe.

Die für den Baubetrieb angelegten Tunnelschächte werden nach Beendigung desselben wieder verfüllt. Bei größeren Abmessungen der Schächte, namentlich bei großer Tiefe derselben, kann der lose eingefüllte Boden leicht einen gefährlichen Druck auf das Tunnelgewölbe ausüben; zur Vermeidung dieses Übelstandes baut man im Schachte in 10 bis 15 m Abstand voneinander Wölbekappen ein, die den Druck auf das Gebirge übertragen.

**§ 116. Der Arbeitsplan.** Wie für einen jeden größeren Bau, so ist namentlich auch für einen Tunnelbau ein gut durchgearbeiteter Arbeitsplan erforderlich, um für rechtzeitige und geregelte Beschaffung der Baumaterialien, Geräte, Arbeitskräfte u. s. w. Sorge tragen zu können, und um ein richtiges Ineinandergreifen der verschiedenen Arbeiten zur Vermeidung von Stockungen zu ermöglichen. Je sorgfältiger ein solcher Plan aufgestellt wird und je mehr er den Verhältnissen derart angepaßt ist, daß er bei der Ausführung eingehalten werden kann, desto geordneter und geregelter wird der Bau durchgeführt werden.

Es empfiehlt sich, den Arbeitsplan nicht nur schriftlich, sondern auch bildlich darzustellen und eine gleiche bildliche Darstellung auch während der Ausführung anzufertigen, in die in bestimmten Zeitabschnitten die jedesmaligen Leistungen einzutragen sind. Auf diese Weise erhält man laufend eine einfache und klare Übersicht über den jederzeitigen Stand der Bauarbeiten.

Nachstehend und in Fig. 11 u. 12, Taf. IV geben wir ein der Praxis entnommenes Beispiel für einen solchen Arbeitsplan in schriftlicher und bildlicher Form. Es betrifft den Marienthaler Tunnel, dessen Bauvorgang auf S. 187 bis 189 und dessen Sohlenstollenvortrieb (Maschinenbohrung) auf S. 112 bis 116 näher beschrieben sind. Dieser in ursprünglicher Fassung nachstehend wiedergegebene Arbeitsplan wurde bei der Ausführung ziemlich genau eingehalten, nur in der letzten Bauzeit traten dem Plan gegenüber kleine Verzögerungen ein, die durch Arbeitermangel veranlaßt wurden. Auch mußte bei der Ausführung von der vorgesehenen Anlage eines zweiten Fördergleises im Tunnel für die Herstellung der Widerlager Abstand genommen werden, weil die Breite einer größeren Anzahl Wagen, deren Mitverwendung notwendig wurde, dies nicht zuließ. Infolge dessen wurden die Arbeiten an den Widerlagern gleichzeitig auf beiden Seiten betrieben, es wurde von dem Arbeitsplan daher in dieser Beziehung abgewichen.

**1. Arbeitsplan für den Bau des 1040 m langen, eingleisigen Tunnels bei Marienthal in der Nebenbahn Altenkirchen-Au (Westerwald).** Das von dem Tunnel zu durchzufahrende Gebirge besteht aus Grauwacke und Thonschiefer. Die Ausführung des Tunnels erfolgt nach der belgischen Bauart, als der einfachsten, billigsten und sichersten.

**Bauvorgang.** Um für den ganzen Baubetrieb eine sichere Grundlage zu schaffen, wird zunächst ein Sohlenstollen hergestellt. Dieser ermöglicht die Anlage einer bleibenden Förderbahn und Wasserrösche, welche letztere von den verschiedenen Arbeitsstellen dauernd das Wasser fernhält.

Der weitere Bauvorgang erfolgt in nachstehender Weise:

Im Sohlenstollen werden Aufbrüche gemacht, um von diesem aus einen Firststollen von 2,3 m lichter Höhe und 1,6 m oberer und 1,8 m unterer lichter Weite an mehreren Stellen gleichzeitig zu treiben. Dieser Firststollen hat den Zweck, für den Abbau des oberen Profilverteiles (der Bogenorte) Wandrutzzimmerung verwenden zu können, welche die Abbauarbeiten sowohl in Bezug auf Zeit, als auch auf Kosten gegenüber der Sparrenzimmerung wesentlich erleichtert. Vom Firststollen aus erfolgt sodann nach beiden Seiten gleichzeitig auf je 10 m Länge mit Hilfe von je vier 10 m langen Wand-

ruten der Abbau der Bogenorte bis auf die Sohle des Firststollens (Fig. 4, Taf. IV), worauf sofort in dem freigewordenen Raume mit der Aufstellung der Lehrbögen und mit der Ausführung des Gewölbes vorgegangen wird, während gleichzeitig anschließend an diesen Ausbruch dieses auf weitere 10 m abgebaut wird. Für die Förderung der gelösten Berge und der Mauermaterialien ist auf je 10 m Länge ein Rolloch vom Firststollen zum Sohlenstollen herzustellen.

Da, wo das Gebirge weniger fest ist und befürchtet werden muß, daß das unbedeckte Widerlager bei 4 m freier Höhe, wie sich solche bei dem beschriebenen Bauvorgange im Verlauf der weiteren Arbeit ergibt, nicht mit genügender Sicherheit stehen würde, sind die Bogenorte über die Sohle des Firststollens hinaus nach Fig. 10, Taf. IV zu vertiefen, um das Gewölbe tiefer ansetzen zu können. In diesem Falle ist der Einbau von je sechs Wandruten notwendig und ist dann das Nachnehmen der Sohle des Oberprofils nach Maßgabe der bezeichneten Figur meist erforderlich.

Nach genügendem Abbinden des Mörtels werden die Lehrbögen der betreffenden Zone bis auf die beiden Endbögen gelöst und nebst der Schalung und den Lehrbogenstützen entfernt, um in einer neu ausgebrochenen Zone aufs neue aufgestellt zu werden. In der frei gewordenen gewölbten Zone wird alsdann der Mittelschlit 4 (Fig. 169, S. 187) hergestellt und die dadurch frei werdende Zimmerung des Sohlenstollens entfernt.

Damit sind die bergmännischen Arbeiten für die betreffende Zone beendet. Der noch folgende Abbau der Seitenstrossen behufs Herstellung der Widerlager ist eine einfache Einschnittsarbeit, wobei nur eine leichte Abstützung des zu unterfahrenden Gewölbes durch einzelne Stempel (Fig. 6, Taf. IV) notwendig ist. Um eine Beschädigung des Gewölbes unter allen Umständen zu verhindern, muß indessen bei dieser Arbeit mit aller Strenge darauf gehalten werden, daß diese nur in geringer Ausdehnung vorgenommen wird. Der Abbau der Strosse einschließlic des für das Widerlager erforderlichen Raumes darf höchstens auf eine Länge von 6 m erfolgen.

Ein vorläufiges Abbauen des vor dem Widerlager liegenden Strossenteiles ist nicht statthaft, es muß vielmehr die in Angriff genommene Strosse sofort bis auf die ganze Tiefe (bis zur hinteren Widerlagsfläche) abgebaut und an der freigelegten Stelle muß das Widerlager sofort aufgeführt werden. Besonders feste unverwitterbare und günstig gelagerte natürliche Gesteinsbänke können das Widerlager ganz oder teilweise ersetzen.

Zeiteinteilung für die verschiedenen Tunnelarbeiten. Da der Tunnel in seiner ganzen Länge in einer Steigung von 1:65 liegt, so ist, um kostspielige Wasserhaltungsarbeiten zu vermeiden, von einer zweiseitigen Inangriffnahme desselben Abstand genommen und der Baubetrieb für den ganzen Tunnel auf eine Seite beschränkt. Um trotzdem eine entsprechend kurze Bauzeit zu erzielen, kommt für die Ausführung des Sohlenstollens Maschinenbohrung zur Anwendung, mit deren Hilfe leicht ein größerer Fortschritt erreicht werden kann, als bei zweigleisigem Stollenbetriebe mit Handarbeit möglich ist.

Schätzt man die durch diese Anordnung ersparten Kosten an Wasserhaltung und erschwerte Förderung der Ausbruchsmassen auch nicht höher, als die Mehrkosten, die der Maschinenbetrieb für die Stollenarbeit erfordert, so erübrigt hierfür immerhin noch der nicht zu unterschätzende Vorteil eines einheitlichen Baubetriebes, ferner die Ersparung einer zweiten Bauanlage und eine Ersparnis an Aufsichtskosten.

Der Tunnel soll bis Ende des Jahres 1886 vollständig fertiggestellt sein. Um dies zu erreichen, ist es wünschenswert, daß der Sohlenstollen bis Ende September 1886 durchschlägig ist. Bis Ende Oktober 1885 waren bereits 215 m Sohlenstollen im Tunnel hergestellt, es verbleiben mithin noch 825 m für elf Monate oder für den Monat durchschnittlich 75 m.

Um der allmählichen Entwicklung der Maschinenbohrung Rechnung zu tragen, wird für die ersten Monate ein geringerer, für die späteren ein größerer Fortschritt verlangt und zwar:

im Monat	November	1885	. . . . .	= 60 m
"	"	Dezember	" . . . . .	= 65 m
"	"	Januar	1886 . . . . .	= 70 m
"	"	Februar	" . . . . .	= 70 m
"	"	März	" . . . . .	= 75 m
"	"	April	" . . . . .	= 75 m
"	"	Mai	" . . . . .	= 80 m
"	"	Juni	" . . . . .	= 80 m
"	"	Juli	" . . . . .	= 82 m
"	"	August	" . . . . .	= 82 m
"	"	September	" . . . . .	= 84 m

zusammen . . . . . 1040 m

Diese immerhin erhebliche Leistung ist nur dann zu erreichen, wenn die Förderung durchaus geregelt ist. Namentlich ist dafür Sorge zu tragen, daß sämtliche bei einem Abschusse gelösten Berge in einemale verladen und fortgeschafft werden. Hierzu sind 7 bis 10 Wagen erforderlich. Um die Schwierigkeiten zu beheben, die das Beladen einer so langen Wagenreihe mit Bergen, die sich vor Kopf derselben befinden, mit sich bringt, werden vor Ort neben dem Stollengleise noch zwei kleine, leicht vorzubauende Gleise hergestellt, auf denen sich zwei leichte, lang gebaute Plattwagen bewegen, die dazu dienen, die vor Ort gefüllten Bergtröge an der Wagenreihe entlang zu befördern, um in die zurückstehenden Wagen ohne Zeitverlust ausgestürzt werden zu können.

Beim Firststollen findet Handbetrieb statt und es ist ein durchschnittlicher Fortschritt von  $\frac{2}{3}$  bis 1 m f. d. Arbeitsstelle und Tag (mit Nachtschicht) zu erwarten, mithin sind 3 bis 5 Arbeitsstellen für ihn notwendig, um dem Fortgange des Sohlenstollens folgen zu können. Diese Arbeitsstellen werden durch Aufbrüche von dem Sohlenstollen aus gewonnen.

Da es für die Lüftung sehr wünschenswert ist, den Tunneldurchschlag möglichst bald herbeizuführen, soll versucht werden, in günstiger Jahreszeit den Firststollen auch von dem oberen Tunnelende aus zu betreiben. Es soll damit bei trockenem Wetter im Mai 1886 begonnen werden, sodafs unter günstigen Umständen der Durchschlag dieses Firststollens mit dem Sohlenstollen Ende August 1886 erwartet werden kann.

Die Bogenausweitung ist in der ersten Zeit nur mäfsig zu betreiben, um eine ruhige Entwicklung der Arbeiten zu ermöglichen. Es wird angenommen, daß bis Mitte Dezember rund 100 m fertiggestellt werden, sodafs von da ab noch 940 m erübrigen, für deren Ausführung  $11\frac{1}{2}$  Monate, bis Ende November 1886 in Aussicht genommen werden. Es entfallen mithin auf jeden Monat 82 m. Diese Leistung ist mit Hilfe zweier Arbeitsstellen zu erreichen, deren Belegschaft so zu bemessen ist, daß an jeder Arbeitsstelle in jeder Woche eine Zone von 10 m Länge abgebaut und die in der vorhergegangenen Woche abgebaute Zone auch fertig eingewölbt wird. Dabei ist diese Arbeit lediglich auf die Tageszeit zu beschränken, um die ungünstigere Nacharbeit — die überhaupt nur da angezeigt erscheint, wo der erforderliche Arbeitsfortschritt dies dringend erheischt — namentlich mit Rücksicht auf die Förderung zu vermeiden. — Die in einer Zone von 10 m Länge in den Bogenorten zu lösenden festen Massen betragen 53 cbm, zu deren Gewinnung, einschliesslich des Einbaus der dabei erforderlichen Zimmerung, 45 Häuerschichten und 10 Schlepperschichten aufzuwenden sein werden, sodafs diese Arbeit von 8 Bergleuten und 2 Schleppern in 6 Tagesschichten ausgeführt werden kann.

Für die Ausführung des Gewölbes in 6 Tagen in einer Zonenlänge mit 34 cbm Mauerwerk und 14 cbm Hinterpackung sind 8 Maurer und 5 Handlanger erforderlich.

Bemerkung. Im Firststollen kommen zur Zeit auf 1 cbm fester Masse zu lösen und zu laden einschliesslich Einbauen der Zimmerung 1,4 Häuerschichten und 0,2 Schlepperschichten. Da erfahrungsmäfsig die Arbeitsleistung in der Bogenausweitung zu der im Stollen sich wie 5 zu 3 verhält, so ergibt sich für das Lösen u. s. w. eines Kubikmeters fester Masse in der Bogenausweitung ein Aufwand von 0,84 Häuerschichten und 0,12 Schlepperschichten, was der oben gemachten Annahme entspricht.

Abbau des Mittelschlitzes und der Seitenstrossen und Aufführung der Widerlagsmauern. Mit dieser Arbeit soll im wesentlichen erst im Frühjahr 1886 begonnen werden, um die Arbeiten in den nächsten Monaten nicht zu sehr zu häufen und um möglichst die bessere Jahreszeit für die vermehrten Förderungen auszunutzen. Nur sind schon jetzt beide Widerlager am Tunnelmündloche auf eine Länge von rund 60 m herzustellen, um im Tunnel selbst einen geeigneten Platz für Rangieren und Aufstellen der Wagenzüge zu gewinnen.

Vom Frühjahr 1886 ab bis zu Ende desselben Jahres, als dem festgesetzten Beendigungstermine für den ganzen Tunnel, sind mithin 980 m zweiseitiges Widerlager auszuführen oder im Monat, da Anfang April mit der Arbeit begonnen werden soll,  $\frac{980}{9} = \text{rund } 109 \text{ m} = 218 \text{ m}$  einseitiges Widerlager.

Auf jeder Arbeitsstelle ist der Abbau der Seitenstrosse auf eine Länge von 6 m auszudehnen. — In einer solchen Länge sind rund 34 cbm fester Gebirgsmasse zu lösen. Für 3 bis 4 Häuer erfordert diese Arbeit eine Zeit von 6 Tagen. In gleicher Zeit ist auch die Aufmauerung des Widerlagers auf 6 m Länge auszuführen, wobei 12,6 cbm Mauerwerk und 3,0 cbm Hinterpackung herzustellen sind, was der Leistung von 2 Maurern und 1 Handlanger entspricht. Eine Belegschaft Bergleute und eine Belegschaft Maurer stellen mithin in jedem Monat 24 m einseitiges Widerlager her.

Danach würden für die rechtzeitige Ausführung des gesamten Widerlagers bei gleichmäfsig über alle 9 Monate verteilten Arbeitsleistungen 9 Belegschaften Bergleute und 9 Belegschaften Maurer mit 18 getrennten Arbeitsstellen notwendig sein. Es ist indessen ein derartiger gleichmäfsiger Betrieb dieser Arbeit mit Rücksicht auf den Fortschritt des Gewölbemauerwerks nicht durchführbar; es müssen

vielmehr in den ersten Monaten weniger und in den letzten Monaten mehr Arbeiterkolonnen eingestellt werden.

Damit diese Arbeit ungehindert von statten geht, dieselbe auch keinen störenden Einfluss auf den übrigen Arbeitsbetrieb ausübt, ist ein zweites Gleis im Stollen einzubauen. Ein Gleis, und zwar das dem betreffenden Widerlager zunächst liegende, dient dann lediglich für die Transporte des Widerlagers, während das andere den übrigen Baubetrieb vermittelt. Um dies zu ermöglichen, sind sämtliche gleichzeitig in Betrieb zu nehmende Arbeitsstellen auf eine Tunnelseite zu verlegen und in möglichst großer Entfernung voneinander gleichmäßig zu verteilen.

Es hat sich eine Entfernung dieser Arbeitsstellen (für Bergleute und für Maurer) von 24 m voneinander als am günstigsten ergeben, dabei können 7 Kolonnen Bergleute und 7 Kolonnen Maurer eingestellt werden, die sich mithin über eine Länge von  $14 \cdot 24 = 336$  m verteilen, zu deren Fertigstellung eine Zeit von 2 Monaten erforderlich ist.

Nach dem bildlichen Arbeitsplane (Fig. 11 u. 12, Taf. IV) ist mit dem rechtsseitigen Widerlager zu beginnen. Dieses muss, einschliesslich der schon jetzt auszuführenden Länge von 60 m, am 1. Juni 1886 bis Stat. 60 + 94 vollendet sein. Hierauf werden die sämtlichen Arbeiterkolonnen auf das linksseitige Widerlager verlegt. Damit wird das linksseitige Gleis, das bis dahin das Betriebsgleis für die übrigen Arbeiten war, zum Baugleis für das linksseitige Widerlager, während das rechtsseitige Gleis ferner für den übrigen Betrieb benutzt wird. Mit Ende Juli ist auch das linksseitige Widerlager bis Stat. 60 + 94 geschlossen fertig. Die Arbeit rückt nun um weitere 336 m vor, indem die vorhandenen 7 Doppelarbeiterkolonnen auf der folgenden Länge des linksseitigen Widerlagers in gleicher Weise wie vorher verteilt werden. Anfang Oktober, bis wann das linksseitige Widerlager in der angegebenen Länge vollendet sein wird, treten die Arbeiterkolonnen auf den rechten Seitenstofs über.

Inzwischen sind die Wölbearbeiten soweit vorgeschritten, dass hier die Arbeiterkolonnen von 7 auf 10 vermehrt werden können, sodass die rechte Seitenstrosse dann auf eine Länge von  $10 \cdot 2 \cdot 24 = 480$  m gleichzeitig in Angriff genommen werden kann. Anfang November ist hier noch eine weitere Doppelbelegschaft für 48 m Arbeitslänge einzustellen. Sie bewirkt die Herstellung dieser Widerlagslänge bis Ende Dezember, während die übrigen 10 Belegschaften das rechte Widerlager bis Stat. 56 + 14 bereits Ende November fertiggestellt haben werden und im Monat Dezember für die Vollendung des Restes der beiderseitigen Widerlager verwendet werden können. Zu dieser Zeit sind die Wölbearbeiten beendet und es können nun unbehindert beide Seitenstrossen gleichzeitig in Arbeit genommen werden.

Bis auf die zu jener Zeit bereits in Arbeit befindlichen 48 m Länge am rechten Seitenstosse erübrigt noch für den Monat Dezember die Ausführung des Widerlagers auf eine Länge von links 308 m, rechts 116 m, im ganzen also 424 m. Für diese Arbeit sind 17 Belegschaften Bergleute und 17 Belegschaften Maurer notwendig, die jede in der gegebenen Zeit eine Widerlagslänge von 12,32 bzw. 12,89 m fertigzustellen haben, was der für die Verteilung dieser Arbeit im Vorstehenden zu Grunde gelegten Leistung annähernd entspricht.

Die Mauerung des Tunnelkanals erfolgt zweckmäßig erst nach Herstellung der Widerlager auf beiden Seiten, weil erst dann genügender Raum vorhanden ist, um diese Arbeit zwischen den auseinandergerückten Baugleisen vornehmen zu können, sodass dadurch Störungen des übrigen Baubetriebes nicht veranlasst werden.

Es kann danach mit den eigentlichen Kanalarbeiten erst Anfang August 1886 begonnen werden, zu welcher Zeit beide Widerlager bis Stat. 60 + 94 vollendet sind. Für die Ausführung dieser ersten Kanallängen stehen 4 Monate Zeit zur Verfügung, da erst Ende November das beiderseitige Widerlager auf eine weitere Strecke geschlossen fertig sein wird. Auf den Monat Dezember entfällt daher die Ausführung der gesamten übrigen Kanallängen von 644 m, mithin auf den Arbeitstag rund 25 m. Dabei kann zweckmäßig nur auf der Strecke von Stat. 60 + 94 bis Stat. 56 + 14 in Tagschichten gearbeitet werden, während die obige Kanalstrecke, in der noch die Widerlagsarbeiten in Betrieb sind, nur zur Nachtzeit hergestellt werden kann, um gegenseitige Störungen der verschiedenen Arbeiten zu vermeiden.

Förderung der Ausbruchsmassen und der Baumaterialien. Zur Herstellung eines laufenden Meters Tunnel sind in den einzelnen Profiltteilen zu lösen und zu laden

im Sohlenstollen	= 9,0 cbm fester Gebirgsmasse = 12,0 cbm loser Masse,
im Firststollen	= 6,5 cbm fester Masse = 8,5 cbm loser Masse,
in den Bogenausweitungen	= 5,3 cbm fester Masse = 7,5 cbm loser Masse,
im Mittelschlitz	= 4,0 cbm fester Masse = 5,5 cbm loser Masse,
in jeder Seitenstrosse	= 6,0 cbm fester Masse = 8,0 cbm loser Masse.

Die für die Förderung der Massen zur Verfügung stehenden Wagen fassen durchschnittlich 2 cbm loser Masse.

Die hiernach erforderliche Wagenzahl berechnet sich folgendermaßen: Unter günstigen Umständen liefert ein Abschufs im Sohlenstollen einen Stollenfortschritt von 1,4 m mit 17,0 cbm loser Masse. Zu ihrer Förderung sind 9 Wagen notwendig, da die gesamten, durch einen Abschufs gelösten Berge in einem Zuge beseitigt werden müssen, um Aufenthalte durch den Rücktransport leerer Wagen zu vermeiden.

Auf den Arbeitsstellen im Firststollen werden täglich in 12stündigen Schichten bei 3 m Gesamtfortschritt 26 cbm loser Masse gewonnen oder 13 Wagenladungen. In der Tagschicht sollen davon 9 Wagenladungen gefördert werden, wozu 3 Wagen ausreichen, wenn diese dreimal entleert werden.

Bemerkung. Während der Nachtschicht werden im Sohlenstollen häufig zwei Abschnüsse vorkommen, für welche die erforderlichen Wagen zur Verfügung sein müssen; mithin sind für alle Fälle 18 Wagen für die Nacht in den Stollen einzusetzen, da ein Wagenwechsel während der Nacht nicht stattfinden soll. Ebenso müssen auch für den Firststollen auf die Nachtschicht für jede der drei Arbeitsstellen zwei Wagen eingestellt werden. Dieser Mehrbedarf an Wagen während der Nachtzeit bei den Stollenbetrieben hat indessen auf das Gesamterfordernis an Wagen keinen Einfluss, da er aus den für den Tagesbetrieb der übrigen Arbeiten nötigen Wagen gedeckt werden kann.

In der Bogenausweitung sind in 6 Arbeitstagen  $2 \cdot 10 \cdot 7,5 = 150$  cbm oder pro Tag (Tagschicht) 25 cbm loser Masse zu gewinnen. Bei dreimaligem Wagenwechsel sind hierzu 5 Wagen nötig.

Der Abbau des Mittelschlitzes liefert für das laufende Meter 5,5 cbm lose Gebirgsmasse oder für 20 lfd. Meter, welche in 6 Arbeitstagen abzubauen sind, 110 cbm, für den Tag mithin rund 18 cbm, für welche 3 Wagen bei dreimaliger Entladung derselben erforderlich sind.

Für die Herstellung des Kanals ist 1 Wagen ausreichend.

Beim Abbau der Seitenstrossen müssen für den Arbeitstag (Tagschicht) auf jeder Arbeitsstelle 8 cbm loser Masse gewonnen werden; hierzu sind bei dreimaligem Wagenwechsel für 7 Arbeitsstellen 10 Wagen erforderlich, die dem jedesmaligen Bedürfnisse entsprechend auf die Arbeitsstellen zu verteilen sind.

Bemerkung. Im Monat Oktober kommen zwar 16 Arbeitsstellen für den Abbau der Seitenstrossen in Betrieb, doch hat dies auf die Ermittlung der Gröfse des Wagenparks keinen Einfluss, da bereits im Monat August der Firststollen und im Monat September auch der Sohlenstollen fertig wird, zu dieser Zeit also die für die Stollenbetriebe bis dahin nötigen Wagen frei werden.

Die Tunnelmauerung enthält für das laufende Meter:

3,5 cbm	Gewölbemauerwerk	} einseitiges Widerlager.
1,4 „	Hinterpackung desselben	
2,1 „	Widerlagsmauerwerk	
0,5 „	Hinterpackung desselben	

Nach dem Arbeitsplane müssen in 6 Arbeitstagen (d. h. in 6 Tagschichten) 20 lfd. m Gewölbe mit  $20 \cdot 3,5 = 70$  cbm ausgeführt werden. Dazu sind erforderlich:

70 · 1,3	= 91,0 cbm	Bruchsteine,
70 · 0,15	= 10,5 „	Kalk,
70 · 0,3	= 21,0 „	Sand,

oder für den Arbeitstag in Wagenladungen

8	Ladungen	Bruchsteine,
1	Ladung	Kalk,
2	Ladungen	Sand.

(Für die Hinterpackung des Gewölbes sowohl als auch des Widerlagers sind die festeren Steine zu verwenden, die bei den Abbauarbeiten im Tunnel selbst gewonnen werden.)

Der Transport der aus dem Siegethale heranzuschaffenden Mauermaterialien, zu denen noch Kohlen und andere Materialien, wie Holz u. s. w. mit durchschnittlich 1 Wagenladung täglich kommen, ist in der Weise zu bewirken, dafs von den zwei vorhandenen Baumaschinen die gröfsere die Materialien in Zügen von 6 Wagenladungen bis zur Spitzkehre bei Breitscheid bringt, von wo sie mittels der Tunnellokomotive bis zum Tunnel weiter befördert werden. — Um hierbei Leerfahrten der Maschinen möglichst zu vermeiden, sind für diese Transporte 2 mal 6 = 12 Wagen vorzusehen. — Von Monat April n. J. ab mufs ferner die Ausführung von 7 lfd. m Widerlagsmauerwerk mit  $7 \cdot 2,1 =$  rund 15 cbm für den Arbeitstag erfolgen.

Dezu sind erforderlich:

15 . 1,3 = 19,5 cbm Bruchsteine  
 15 . 0,15 = 2,3 „ Kalk,  
 15 . 0,3 = 4,6 „ Sand,

oder in Wagenladungen

10 Ladungen Bruchsteine,  
 1 Ladung Kalk,  
 2 Ladungen Sand.

Hiermit steigt die zu befördernde Materialmenge auf im ganzen 24 Wagenladungen und es scheint zweckmäßig, für diese vermehrten Materialtransporte weitere 6 Wagen einzustellen, um bei etwaigen Verzögerungen im Be- und Entladen der Wagen Betriebsstörungen möglichst zu vermeiden.

Für den Transport des fertigen Mörtels von der Mörtelmühle in den Tunnel sind ferner noch anfänglich 4, später nach Inangriffnahme der Widerlager 6 Plattwagen notwendig.

Nach vorstehendem ergibt sich folgender Gesamtbedarf an Bauwagen für den Tunnel:

1. Für die Zeit bis zum Monat April 1886:

Für den Sohlenstollen . . . . .	= 9 Kippwagen
„ „ Firststollen . . . . .	= 3 „
„ „ Mittelschlitz . . . . .	= 3 „
„ „ Materialtransport für das Gewölbe . . . . .	= 12 „
	und . = 4 Plattwagen

zusammen . . 29 Kippwagen und 4 Plattwagen.

2. Für die Zeit vom April 1886 ab:

Für den Sohlenstollen . . . . .	= 9 Kippwagen
„ „ Firststollen . . . . .	= 3 „
„ „ Mittelschlitz . . . . .	= 3 „
„ die Seitenstrossen . . . . .	= 10 „
„ den Kanalbau . . . . .	= 1 „
„ „ Transport von Materialien zum Gewölbe und dem Widerlager . . . . .	= 18 „
	und . = 10 Plattwagen

zusammen . . 44 Kippwagen und 6 Plattwagen

Hierzu an Reserven . 10 „ „ 2 „

Ergiebt im ganzen . . 54 Kippwagen und 8 Plattwagen.

Ein vorteilhafter Tunnelbaubetrieb ist in erster Linie von einer durchaus geregelten Förderung abhängig. Diese ist nur dadurch zu erreichen, daß die Einführung der für die Förderung der gelösten Berge erforderlichen Wagen und der für die Mauerung und Zimmerung nötigen Materialien in den Tunnel zu den verschiedenen Arbeitsstellen, sowie die Rückförderung der beladenen bzw. entleerten Wagen zu ganz bestimmten Tageszeiten für alle Arbeitsstellen erfolgt. Es ist eine der wichtigsten Aufgaben der ausführenden Beamten, dafür Sorge zu tragen, daß bei der Einführung der Wagen in den Stollen an jeder Arbeitsstelle genau die dem Stande der jeweiligen Arbeit entsprechende Anzahl leerer bzw. mit Material beladener Wagen gelangen und daß die Be- bzw. Entladung derselben in der gegebenen Zeit vollständig beendet ist, damit die für den Transport der Wagenreihe festgesetzte Zeit genau eingehalten werden kann. Die sämtlichen Tunneltransporte sind einem besonders dazu geeigneten Vorarbeiter zu unterstellen. Dieser hat sich für jeden Zug mit den Vorarbeitern an den einzelnen Arbeitsstellen über den Wagen- bzw. Materialbedarf zu benehmen und hat dementsprechend für das richtige Zusammenstellen der in den Tunnel einzusetzenden Züge zu sorgen, derart, daß die für die einzelnen Arbeitsstellen bestimmten Wagen auch an dieselben gelangen können.

Sollte sich für die Verständigung über den Wagenbedarf die Anlage von Telephonleitungen zwischen den einzelnen Arbeitsstellen und dem Tunnelbauplatze als wünschenswert herausstellen, so ist rechtzeitig für die Herstellung derartiger Anlagen Sorge zu tragen.

Nach dem vorliegenden Arbeitsplan sollen nur der Sohlen- und Firststollen mit Tages- und Nachtschichten, alle übrigen Arbeiten und sämtliche Transporte nur während der Tageszeit betrieben werden.

Morgens 5<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Uhr sind die während der Nachtschicht in dem Stollen beladenen Wagen aus dem Tunnel herauszuschaffen und zu entleeren, sodafs die Einstellung der Wagen für die Tagschicht um 6 Uhr morgens erfolgen kann. Da die Lokomotive, mittels der dies zu geschehen hat, auch noch die

Materialtransporte von der Spitzkehre bei Breitscheid bis zum Tunnel und die verschiedenen Rangierarbeiten auf dem Bauplatze bewirken soll, so ist es wünschenswert, daß zwischen den weiteren jedermaligen Einstellungen der Wagen in den Tunnel möglichst viel Zeit liegt. Bei der Berechnung der erforderlichen Wagenzahl ist daher nur ein dreimaliger Wagenwechsel bei den Tunnelarbeiten vorgesehen, der zweckmäßig außer der ersten Einstellung um 6 Uhr morgens auf die Zeiten um 9<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Uhr morgens und 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Uhr nachmittags verlegt wird.

Für die Nachtzeit werden die erforderlichen Wagen um 6 Uhr abends in den Stollen gesetzt. Die auf diese Weise entstehenden Zwischenzeiten genügen, um die Tunnellokomotive auch noch für die Materialtransporte von der Spitzkehre bei Breitscheid bis zum Tunnel u. s. w. zu verwenden.

Die letzteren belaufen sich nach den vorhin angestellten Ermittlungen für die Zeit bis zum April 1886 auf durchschnittlich 10 Wagenladungen für den Tag. Die vorhandene 80 pferdige Lokomotive, die dazu bestimmt ist, die Materialtransporte aus dem Siegthale bis zur Spitzkehre bei Breitscheid zu befördern, kann auf der Steigung von 1:25 Züge von 6 Ladungen fortschaffen. -- Um die Zugkraft der Lokomotive auszunutzen und damit zugleich einen gewissen Vorrat an Materialien zu gewinnen, sollen täglich zwei volle Materialzüge (12 Ladungen) durch die große Lokomotive bis zur Spitzkehre bei Breitscheid gefahren werden, wozu eine Zeit von je 45 Minuten erforderlich ist. Die Tunnellokomotive mit 45 Pferdekraft kann auf der Steigung von 1:25 vier Ladungen fortschaffen; mithin muß sie in der Zeit bis zum 1. April n. J. dreimal im Laufe des Tages den Weg vom Tunnel bis zur Spitzkehre und umgekehrt zurücklegen, um die Materialien zum Tunnel zu fördern.

In der Zeit vom Monat April 1886 ab ist der Bedarf an Material für den Tunnel doppelt so groß. Es sind dann für die 80 pferdige Maschine 4 Züge aus dem Siegthale bis zur Spitzkehre bei Breitscheid zu befördern und durch die Tunnellokomotive 6 Züge von der Spitzkehre bis zum Tunnel. In dieser Zeit verbleiben für die 80 pferdige Lokomotive, die neben den Materialtransporten für den Tunnel auch die Transporte der Heinrichshütte<sup>117)</sup> zwischen dem Bahnhofe Au und der Hütte zu vermitteln hat, für letztere täglich 9 Arbeitsstunden, den Arbeitstag von 6 Uhr morgens bis 7 Uhr abends, abzüglich einer Stunde Mittag, gerechnet. Jeder Hüttenzug beansprucht 45 Minuten Zeit; es können mithin täglich 12 Hüttenzüge außer den Tunnelmaterialzügen gefahren werden. Der hierzu erforderliche Wagenpark wird nach getroffener Vereinbarung seitens der Hüttenverwaltung beschafft. Diese Wagen erhalten solche Abmessungen, daß sie je <sup>1</sup>/<sub>3</sub> Doppelladung der Hauptbahn aufnehmen können. Auf der Steigung von 1:30, in welcher der größere Teil der Hüttenbahn liegt, befördert die 80 pferdige Lokomotive 7 Ladungen. Bei gutem Betriebe werden daher  $7 \cdot 12 = 84$  Ladungen = 28 Doppelladungen der Hauptbahn vom Bahnhof Au bis zur Hütte transportiert, in der Zeit bis zum April nächsten Jahres sogar  $7 \cdot 14 = 98$  Ladungen = rund 32 Doppelladungen der Hauptbahn. Diese Leistung wird sich etwas verringern an den Tagen, an denen gleichzeitig auch Eisen- und Erztransporte von der Hütte zum Bahnhof auszuführen sind, weil hierbei durch das vermehrte Rangieren der Wagen und durch Verwiegen des Eisens Aufenthalte entstehen; es ist Sache der ausführenden Beamten, dafür Sorge zu tragen, daß die hierbei entstehenden Aufenthalte aufs äußerste beschränkt werden. Der für die Hütte erforderliche Wagenpark beläuft sich einschließlichs Reserven auf  $2 \cdot 7 + 4 = 18$  Koakswagen und  $2 \cdot 5 + 2 = 12$  Eisenwagen, zusammen 30 Wagen.

Als Anhalt für die Tunnel- und Hüttentransporte sind zwei Normalfahrpläne angefertigt, nach denen der Betrieb während der Zeit bis zum April n. J. im allgemeinen zu regeln ist.

Neuwied, im November 1885.

E. Mackensen.

**2. Tunnelwerkplatz des Milseburg-Tunnels.** Als bemerkenswertes Beispiel eines Tunnelwerkplatzes seien hier noch die betreffenden Anlagen für den Bau des 1150 m langen Milseburg-Tunnels im Zuge der Nebenbahn Fulda-Tann, der in den Jahren 1888 und 1889 erbaut wurde, erwähnt.<sup>118)</sup> Der Werkplatz ist in Fig. 1, Taf. XI dargestellt.

<sup>117)</sup> Für die Beförderung der Materialien zum Tunnel war eine 6,5 km lange Feldbahn mit 90 cm Spurweite und einer größten Steigung von 1:25 vom Bahnhofe Au bis zum Tunnel mit Abzweigungen zu den in der Nähe des Bahnhofes Au im Siegthale liegenden Steinbrüchen, sowie zu der Heinrichshütte geführt. Die Bauverwaltung hatte bei der Anlage dieser zum großen Teile auf dem Hüttenterrain liegenden Bahnen die Verpflichtung übernommen, die Materialtransporte für die Hütte zwischen letzterer und dem Bahnhofe Au gegen Entschädigung mit auszuführen. In dieser Bahn befand sich unfern des Ortes Breitscheid eine Spitzkehre, von der im obigen mehrfach die Rede ist. Der Anschluß der Bahn an den Werkplatz des Tunnels ist auf Taf. XI, Fig. 9 dargestellt.

<sup>118)</sup> Oberschulte. Zeitschr. f. Bauw. 1892.

Da der Tunnel in einer Steigung von 1:50 liegt, so ist er nur von einer, der unteren Seite in Angriff genommen worden, um die Entwässerung und Förderung der Ausbruchmassen möglichst zu verbilligen. Der Werkplatz lag 100 m vor der Tunnelmündung. Da geeignete Zufahrwege zu demselben nicht vorhanden waren, so wurde zunächst zum Anschluß an eine 2,5 km entfernte Chaussee eine Schmalspurbahn mit 90 cm Spurweite gebaut, die zum größeren Teil auf dem zu diesem Zweck sofort hergestellten Planum der zu erbauenden Bahn lag.

Der Werkplatz lag wagerecht. Die auf ihm hergestellte Gleisanlage gliedert sich in mehrere Gruppen, von denen die erste mit den Gleisen I und II zur Aufstellung der aus dem Tunnel kommenden beladenen Schuttwagen bzw. der leeren von der Kippe kommenden Förderwagen diente; die zweite Gruppe, die Gleise III bis VI umfassend, diente Vorschubzwecken; eine weitere Gruppe hatte mit den Gleisen VIII und IX die Beförderung der Mauermaterialien zu übernehmen; das letztere führte unter das Sturzgerüst eines Bremsberges, aus dem das in einem darüber liegenden Steinbruch gewonnene Steinmaterial für die Tunnelausmauerung herangeschafft wurde. Das erstere schloß an den Mörtelbereitungsschuppen an und hatte diesem die Mörtelmaterialien zuzubringen, der fertige Mörtel dagegen wurde auf der gegenüberliegenden Seite des Schuppens dem Mörteltransportgleis zugeführt.

Durch Einschaltung des Gleises VII zwischen die erste und zweite Gruppe war ein Gleisdreieck gebildet, durch dessen Benutzung die Möglichkeit gegeben war, Lokomotiven und Wagen, sowie ganze Züge ohne Zuhilfenahme einer Drehscheibe zu drehen. In dies Gleis war zudem eine Centesimalwaage eingebaut, die ein Wiegen der mit Verbrauchsmaterialien ankommenden Wagen gestattete.

**§ 117. Ermittlung der Baukosten.** Eine genaue vorherige Ermittlung der Kosten eines Tunnelbaues ist nicht möglich, weil man nicht in der Lage ist, alle die Verhältnisse, die auf die Ausführungskosten von wesentlichem Einflusse sind, wie namentlich die Beschaffenheit des Gebirges im voraus mit Sicherheit zu übersehen. Es hat daher keinen großen Wert, unter Annahme bestimmter Verhältnisse einen in der Weise ins Einzelne gehenden Kostenvoranschlag, wie solcher bei anderen Ingenieurbauten üblich ist, aufzustellen; man ist vielmehr darauf angewiesen, die Kosten eines Tunnelbaues nach den Erfahrungen bei anderen Tunnelausführungen in einer mehr summarischen Weise zu veranschlagen. Dabei trennt man zweckmäÙig die Kosten für Mauerung, sowie diejenigen für Verwaltung und allgemeine Anlagen von den Kosten für Gewinnung nebst Zimmerung und Förderung, da gerade die letzteren vorwiegend unbestimmter Natur sind, während die ersteren sich in der Regel leichter im voraus ermitteln lassen. Namentlich die Kosten der Mauerung, die häufig einen bedeutenden Teil der Gesamtkosten ausmachen, sind nach den jeweiligen örtlichen Verhältnissen mit größerer Sicherheit f. d. Einheit zu veranschlagen. Als Beispiele für Veranschlagungen von Tunnelbauten sind auf S. 390 u. 391 die vorherigen Kostenberechnungen für eine Anzahl Tunnel der Gotthard-Bahn zusammengestellt.

Für die Ermittlung der in einem gegebenen Falle der Kostenberechnung zu Grunde zu legenden Einheitssätze werden bezüglich der Gewinnung und der Förderung die im vorliegenden Kapitel gegebenen Notizen einigen Anhalt bieten, nachdem auf Grund der geologischen Untersuchung des Geländes, der Schürfversuche u. s. w. eine ungefähre Annahme bezüglich der zu erwartenden Beschaffenheit des Gebirges gemacht worden ist.

Was die Kosten der Zimmerung anlangt, so kommt bei ihnen wesentlich nur das Material in Betracht, da die Kosten für Arbeitslohn bei Herstellung der Zimmerung sich kaum von denjenigen der Gewinnung trennen lassen. Den Bedarf an Zimmerungsmaterial kann man nach erfolgter Wahl der Bauweise und der Zimmerungsart annähernd berechnen. In den vorstehenden Abschnitten dürfte genügender Anhalt geboten sein, um die Aufstellung einer Normalie für die gewählte Zimmerungsart zu ermöglichen, die der Materialberechnung zu Grunde zu legen ist. Dabei ist auf den Umstand Rücksicht zu nehmen, daß der größte Teil der Hölzer eine mehrmalige Verwendung gestattet, und zwar kann angenommen werden, daß sie sich verwenden lassen:

In festem Gebirge die Pfähle 3 mal, die übrigen Hölzer 6 mal,  
 in gebrächem Gebirge die Pfähle 2 mal, die übrigen Hölzer 5 mal,  
 in mildem Gebirge die Pfähle  $1\frac{1}{2}$  mal, die übrigen Hölzer 4 mal,  
 in rolligem und schwimmendem Gebirge die Pfähle 1 mal, die übrigen Hölzer 3 mal.

Die Kosten für 1 cbm Tunnelmauerung sind zumeist von den Kosten der Materialien abhängig, die nach den örtlichen Verhältnissen festzustellen sind. Für die Ermittlung der Herstellungskosten (Arbeitslohn) ist als Leistung eines Maurers und der erforderlichen Anzahl von Handlangern, auf einen Maurer bezogen (unter Annahme eines Verhältnisses der Leistung des Handlangers zu der des Maurers wie 5 : 7) durchschnittlich anzunehmen: bei Bruchsteinmauerwerk = 0,4 cbm, bei Quadermauerwerk = 0,5 cbm, bei Ziegelmauerwerk = 0,7 cbm.

Diese Zahlen gelten als Mittelwerte für die Mauerung des Sohlengewölbes, der Widerlager und des Hauptgewölbes. Für je zwei Maurer sind je nach den örtlichen Verhältnissen, den Entfernungen, auf welche Mörtel und Steine herbeigeschafft werden müssen u. s. w., sowie nach den verschiedenen handwerksmäßigen Gewohnheiten 1 bis 5 Handlanger zu rechnen.

Beim Bau des Schwelmer Tunnels (vergl. § 75) wurden von einem Maurer in einer 12 stündigen Schicht im Widerlager 0,7 bis 0,8 cbm, im Gewölbe 0,5 bis 0,6 cbm Bruchsteinmauerwerk (50 bis 70 cm stark) hergestellt; dabei kam auf je zwei Maurer ein Handlanger. Die Handlanger hatten die Mörtelbereitung und den Transport der Materialien bis auf 30 m Entfernung zur Arbeitsstelle zu besorgen.

Beim Bau des Blechingley-Tunnels (vergl. § 77) wurden von 4 Maurern und 7 Handlangern in einer Schicht durchschnittlich 6,0 cbm Ziegelmauerwerk ausgeführt.

Séjourné<sup>119)</sup> hat für festes Gestein (wenigstens 2 M. Lösepreis) nach den Bausergebnissen einer Reihe nach belgischer Bauart ausgeführter Tunnel ermittelt, daß die Kosten eines Richtstollens von etwa 7 qm Durchschnitt  $K_1 = 9P$  bis  $11P$  für das Kubikmeter Ausbruch in Mark betragen, wenn  $P$  den Lösepreis in Mark desselben Gesteins im offenen Einschnitt bedeutet, und daß die Kosten für das Kubikmeter Vollausbruch des ganzen Querschnittes eingleisiger Tunnel bis etwa 600 m Länge (nur von den Mundlöchern aus betrieben) sich auf  $K_2 = 5P$  im Mittel stellen. Ferner berechnet er die Gesamtkosten  $K_3$  einschließlich Ausmauerung für das Kubikmeter Lichtraum der fertigen Tunnelröhre aus nachstehenden Formeln:

- Profil I. Ohne Ausmauerung . . . . .  $K_3 = 5,5 P.$
- „ II. Kappe 0,4 m stark, aus lagerhaften Bruchsteinen; Ulmen frei . . . . .  $K_3 = 5,1 + 6,4 P.$
- „ III. Kappe wie vorhin; Ulme 0,4 m stark mit gewöhnlichem Mauerwerk verkleidet . . . . .  $K_3 = 7,5 + 7 P.$
- „ IV. Kappe 0,6 m stark, aus auf 0,3 m Tiefe keilförmig bearbeiteten Bruchsteinen; Ulmen 0,6 m stark in gewöhnlichem Bruchsteinmauerwerk . . . . .  $K_3 = 8,8 + 8 P.$

Für zweigleisige Tunnel würden sich die vorstehend angegebenen Preise auf das 0,75 bis 0,8 fache für das Kubikmeter ermäßigen und daher für das Kubikmeter Vollausbruch des ganzen Querschnittes im Mittel  $K_2 = 4P$  und z. B. bei einem nach Profil III ausgemauerten Tunnel für das Kubikmeter Lichtraum des fertigen Tunnels  $K_3 = 5,7 + 5,4 P$  betragen. —

<sup>119)</sup> Ann. des ponts et chaussées 1879, II.

Tabelle XXVII. Veranschlagung der Baukosten

Bezeichnung des Tunnels	Gebirgsverhältnisse	Länge des Tunnels m	Aus- bruchs- Quer- schnitt qm	Ge- wölbe- stärke cm	Bezeichnung der Mafsgattung und Preise			
						Kubikmeter	Preis M.	f. d. lfd. m M.
1. St. Antonino und Molinero. (Eingleisig).	Glimmerschiefer, stark glimmer- führende verwitterbare Schichten enthaltend. Fester Gneis.	53 und 65	35,64	40	Kubikmeter Preis M. f. d. lfd. m M.			
2. Monte Ceneri. (Eingleisig.)	Fester Gneisglimmerschiefer. Betrieb von den Mundlöchern und einem 93 m tiefen Schacht.	1675	35,64 und 34,06	40	Kubikmeter Preis M. f. d. lfd. m M.			
3. Gutsch-Tunnel bei Brunnen.	Kalkfels, festes Gestein.	104	57,5	teils ohne, sonst 40	Kubikmeter Preis M. f. d. lfd. m M.			
4. Pension Mythenstein- und Kleiner Hohe Fluh-Tunnel.	Kalkfels, hartes bezw. klüftiges Gestein.	33 und 56	60,17	50	Kubikmeter Preis M. f. d. lfd. m M.			
5. Kehr-Tunnel bei Pfaffensprung.	Gneisgranit. Betrieb mittels Maschinenbohrung im Sohlen- stollen.	1510	57,5	ohne bezw. 40	Kubikmeter Preis M. f. d. lfd. m M.			
6. Kirchberg-Tunnel.	Festgelagerter Moränenschutt mit großen Blöcken und festem Gneisgranit.	296	55,6	ohne	Kubikmeter			
				bezw. 40	Preis M. f. d. lfd. m M.			
			60,19	60	Kubikmeter			
				bezw. 40	Preis M. f. d. lfd. m M.			
7. Leggissteiner Kehrtunnel.	Teils zerklüfteter, teils festge- lagerter Gneisgranit.	2100	57,5	ohne bezw. 40	Kubikmeter Preis M. f. d. lfd. m M.			
8. Calcacia-Tunnel.	Mittelfester Glimmerschiefer. Starke Wasserzuflüsse zu ge- wärtigen.	200	57,5	ohne bezw. 40	Kubikmeter Preis M. f. d. lfd. m M.			
		1600 bezw. 1528	57,5	ohne	Kubikmeter			
				bezw. 40	Preis M. f. d. lfd. m M.			

einzelner Tunnel der Gotthard-Bahn.

Allgemeine Kosten	Ausbruch										Mauerung					Gesamtpreis f. d. lfd. Meter Tunnel M.
	Sohlenstollen	Zuschlag für Lüftung	Firststollen	Zuschlag für Lüftung	Bogen- erweiterung	Vollausbruch	Nachbruch der Schale	Zimmerung	Förderung	Für Ausbruch zusammen	Kanal- mauerwerk	Gewöhnliches Bruchstein- mauerwerk	Häufiges Bruch- steinmauerwerk	Gewölbe- mauerwerk	Für Mauerung zusammen	
—	—	—	5	—	—	30,6	—	—	35,6	—	—	0,95	4	2,8	—	—
—	—	—	10,8	—	—	5,6	—	—	—	—	—	19,2	22,4	64	—	—
—	—	—	54	—	—	171,6	—	22	113,6	361	12,8	18,2	89,6	179,2	300	661
—	8,4	—	5	—	4,33	16,8	—	—	34,8	—	—	0,95	4	2,7	—	—
—	12	—	12	—	9,6	8	—	—	—	—	—	20	23,2	64	—	—
180	101,4	36	60	24	41,7	134	—	—	200	777	18,8	19	92,8	173,4	304	1081
—	—	—	5,0	—	6,0	39,5	7	—	—	—	—	1,0	5,0	4,2	—	—
—	—	—	20,8	—	10	6,8	10,4	—	—	—	—	25,6	32,0	63,2	—	—
104	—	—	104	—	57,6	268,6	72,8	—	89,6	699	19,63	25,6	160	264,8	470	1169
—	—	—	5	—	7	48,2	—	—	—	—	—	1,75	5,8	5,3	—	—
—	—	—	17,2	—	8	56	—	—	—	—	—	25,6	32,0	63,2	—	—
80	—	—	86	—	56	269,7	—	32	83,2	607	19,6	44,8	185,6	333	583	1190
—	6	—	5	—	6	33,5	7	—	58,5	—	—	1,0	5	4,2	—	—
—	24	—	24	—	12	8	11,2	—	2,6	—	—	24	26,4	59,2	—	—
160	144	64	120	48	72	268	78,4	—	154,4	1108	20	24	132	248	424	1532
—	—	—	5	—	6	37,6	7	—	56,6	—	—	1,0	5	4,2	—	—
—	—	—	22,4	—	11,2	7,6	10,4	—	1,4	—	—	24	26,4	59,2	—	—
96	—	—	112	—	67,2	285,7	72,8	—	81,5	715	20	24	132	248	424	1139
—	—	—	5	—	8,0	47,2	—	—	61,2	—	—	2	7	6,4	—	—
—	—	—	13,6	—	6,8	4,4	—	—	1,4	—	—	24	26,4	59,2	—	—
96	—	—	68	—	54,4	207,6	—	184	85,6	696	20	48	184	377,6	630	1326
—	6	—	5	—	6	33,5	7	—	58,5	—	—	1,0	5	4,2	—	—
—	25,6	—	25,6	—	12,4	8,4	11,6	—	2,3	—	—	24,8	27,2	65,6	—	—
160	153,6	40	128	28	74,4	281,4	81,2	—	141,7	1088	20	24,8	136	274,4	455	1543
—	—	—	5	—	6	39,5	7	—	57,5	—	—	1,0	5	4,2	—	—
—	—	—	20,8	—	10,8	7,2	10	—	1,2	—	—	26,4	30,4	67,2	—	—
120	—	—	104	—	64,8	284,4	70	—	69	712	20	26,4	152	281,5	480	1192
—	6	—	5	—	6	33,5	7	—	57,5	—	—	1,0	5	4,2	—	—
—	24	—	24	—	12	8	11,2	—	2,8	—	—	25,6	29,6	67,2	—	—
160	144	64	120	48	72	268	78,4	—	161	1116	20	25,6	148	264,8	458	1574

Als Beispiel, wie sich die Baukosten auf die einzelnen Tunnelarbeiten verteilen, mögen nachstehende Preiszusammenstellungen (s. Tab. XXVIII u. XXIX) Platz finden, nach denen die sieben Tunnel im Pegnitzthal der Linie Nürnberg-Kirchenbergbach (bayerische Staatsbahn)<sup>120)</sup> verdungen und ausgeführt wurden. Die Profile *A*, *B* und *C* unterscheiden sich von *A'*, *B'* und *C'* nur dadurch, daß bei letzteren die Sohlenkämpfer fortgelassen sind, welche bei ersteren ausgeführt wurden, um für eine unter Umständen notwendige Herstellung des Sohlengewölbes vorbereitet zu sein.

Tabelle XXVIII.

## Zusammenstellung der Ausbruchs- und Mauermassen der Tunnel im Pegnitzthale.

Profil	Ausbruch				Mauerwerk			Gewölbestärke		
	Firststollen	Sohlenstollen	Rest	im ganzen	Hau- steine	Bruch- steine	im ganzen	Scheitel	Wider- lager	Sohle
	cbm	cbm	cbm	cbm	cbm	cbm	cbm	m	m	m
<i>A</i>	5,50	10,20	50,00	65,70	11,24	4,24	15,48	0,45	0,60	—
<i>B</i>	5,50	10,20	53,40	69,10	14,61	4,36	18,97	0,50	0,75	—
<i>C</i>	5,50	10,20	56,80	72,50	17,99	4,48	22,47	0,65	0,90	—
<i>D</i>	6,00	12,20	54,70	72,90	17,73	4,36	22,09	0,50	0,75	0,45
<i>E</i>	6,00	12,20	59,30	77,50	22,27	4,48	26,75	0,65	0,90	0,60

Tabelle XXIX. Preiszusammenstellung von den Tunneln im Pegnitzthale.

Lfd. No.	Bezeichnung der Arbeiten	Kosten in Mark f. d. lfd. m Tunnel										Bemerkungen.
		in Thon, Mergel, Jurakalk					Felsendolomit					
		<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>	<i>E</i>	<i>A'</i>	<i>B'</i>	<i>C'</i>	<i>A<sup>0</sup></i>		
1	Firststollen . . . . .	52	45	45	45	45	86	75	65	103	Ausbruchsarbeiten einschl. Spreng- und Beleuchtungsmaterial.	
2	Sohlenstollen . . . . .	61	55	55	55	55	102	88	78	120		
3	Gesamt-Ausbruch . . . . .	244	220	220	220	220	412	350	312	463		
4	Auszimmerung . . . . .	51	82	113	130	165	36	48	76	—		
5	Lehrgerüst . . . . .	40	45	49	49	49	40	45	50	—	Hau- und Bruchsteine und Mörtel.	
6	Wölbungsmaterial . . . . .	538	695	836	832	1027	488	616	747	—		
7	Herstellung des Mauerwerks	216	260	294	317	367	207	249	283	—	Einschl. der Beleuchtung.	
8	Abzugskanal . . . . .	41	41	41	26	26	41	41	41	41	Insbesondere für Wege und Entwässerungen.	
9	Verfugen . . . . .	14	14	14	14	14	14	14	14	9		
10	Für alle Nebenleistungen.	43	43	43	82	82	34	34	34	34		
	zusammen . . . . .	1300	1500	1710	1770	2050	1460	1560	1700	770		

Rziha gibt in seinem Lehrbuche von ihm ermittelte Durchschnittskosten für Eisenbahntunnel in den verschiedenen Gebirgsarten an, die allgemeinen Kostenüberschlägen zu Grunde gelegt werden können. Dieselben sind in Bd. I, 3. Aufl., Kap. I, S. 166 des vorliegenden Handbuches mitgeteilt. — Zu diesem Zwecke dürften ferner die nachstehenden Zusammenstellungen in Tabelle XXX u. XXXI einigen Anhalt bieten, in denen die Durchschnittskosten für das Meter Tunnel, auch soweit sie zu ermitteln waren, die Kosten für das Kubikmeter Aushub und Mauerung einer größeren Zahl ausgeführter zwei- und eingleisiger Tunnel zusammengestellt sind.

<sup>120)</sup> Hennech. Zeitschr. f. Baukunde 1879.

# Zusammenstellung

der

## Baukosten zweigleisiger und eingleisiger Tunnel.

Tabelle XXX. Zusammenstellung der

Name des Tunnels	Eisenbahnlinie	Baujahr	Länge	Größte
			des Tunnels	lichte Weite
			m	m
<b>a) Zweigleisige Tunnel</b>				
1. Czernitz . . . . .	Wilhelmsbahn (Oberschlesien).	1854-58	503	8,60
2. Altenbeken . . . . .	Altenbeken-Holzminden.	1856-59	1630	8,40
3. Merten . . . . .	Köln-Gießen.	1856-61	236	8,00
4. Herchen . . . . .	desgl.	1856-61	370	8,00
5. Hoppengarten . . . . .	desgl.	1856-61	130	8,00
6. Mauel . . . . .	desgl.	1856-61	237	8,00
7. Schönstein . . . . .	desgl.	1856-61	344	8,00
8. Stadte . . . . .	desgl.	1856-61	232	8,00
9. Alsdorf . . . . .	desgl.	1856-61	132	8,00
10. Herdorf . . . . .	desgl.	1856-61	136	8,00
11. Frensb erg . . . . .	Betzdorf-Siegen.	1856-61	126	8,00
12. Büdenholz . . . . .	desgl.	1856-61	232	8,00
13. Brachbach . . . . .	desgl.	1856-61	231	8,00
14. Niederschelden . . . . .	desgl.	1856-61	350	8,00
15. Naensen . . . . .	Kreiensen-Holzminden.	1861-63	879	8,00
16. Ippensen . . . . .	desgl.	1861-63	206	8,00
17. Lengerich . . . . .	Venlo-Hamburg.	1868-71	753	8,00
18. Harras-Mühle . . . . .	Gera-Eichicht.	1870-71	117	8,16
19. Welkenraedt . . . . .	Aachen-Welkenraedt.	1871-72	870	8,20
20. Wartha . . . . .	Breslau-Mittelwalde.	1872-73	363	8,00
21. Vogelheerd . . . . .	Nürnberg-Kirchenlaibach. (Bayerische Staatsbahn.)	1871-75	256	8,20
22. Platte . . . . .	desgl.	1871-75	268	8,20
23. Sonnenburg . . . . .	desgl.	1871-75	190	8,20
24. Rothenfels . . . . .	desgl.	1872-74	218	8,20
25. Hufstätte . . . . .	desgl.	1872-74	80	8,20
26. Braunhausen . . . . .	Bebra-Friedland.	1872-75	292	8,00
27. Cornberg . . . . .	desgl.	1872-75	719	8,00
28. Bebenroth . . . . .	desgl.	1872-75	928	8,00
29. Langenau . . . . .	Breslau-Mittelwalde.	1873-74	359	8,00
30. Schürzeberg . . . . .	Bebra-Friedland.	1873-75	173	8,00

Gesamtkosten zweigleisiger Tunnel.

Gebirgsbeschaffenheit	Bauweise	Kosten für das Kubikmeter		Gesamtkosten f.d. lfd.m Tunnel M.	Bemerkungen.	
		Aushub M.	Mauerung M.			
<b>in Deutschland.</b>						
Gipsletten, Sand und Gips.	Deutsche u. österr. Bauweise.	—	—	4050	Ziegelsteingewölbe 80 cm stark.	
a) Gault und Grünstein.	Österreichische Bauweise mit Centralstreben.	Siche Spalte Bemerkungen.	24,0	1450	M.	
b) Hilssandstein.			—		306	Kosten für das lauf. Meter Vollaubruch nach Abzug von Sohlen- und Firststollen einschl. Zimmerungsmaterial und Arbeitslohn, jedoch ausschl. Förderung, Handbohrung mit Pulver.
c) Gipsletten.			—		490	
d) Wellenkalk.			—		1060	
e) Encriniten-Kalk.			—		585-450	
f) Mergeliger Muschelkalk.			—		695	
g) Mergeliger Muschelkalk mit vielem Wasser.			—		650	
h) Encriniten- und Muschelkalk.			—		660-860	
—	—	—	585	—		
Grauwacke mit wechselnden Lagen von Thonschiefer und Quarziten.	Deutsche Bauweise.	6,65	22,5	1170	Gewölbestärke 70 cm.	
desgl.	desgl.	6,76	23,0	1009	Gewölbestärke 70 cm.	
desgl.	desgl.	8,45	36,5	2636	Gewölbestärke 100-140 cm, Sohlengewölbe.	
desgl.	desgl.	5,13	32,2	1315	Gewölbestärke 70 cm.	
desgl.	desgl.	8,70	27,2	1290	Gewölbestärke 70 cm.	
desgl.	desgl.	10,30	40,3	2300	Gewölbestärke 70 cm.	
desgl.	desgl.	4,93	33,0	1324	Gewölbestärke 70 cm.	
desgl.	desgl.	6,07	35,6	1207	Gewölbestärke 70 cm.	
desgl.	desgl.	5,61	38,3	1190	Stärke des Gewölbes 70 cm. Handbohrung mit Pulver.	
desgl.	desgl.	5,98	35,0	1156		
desgl.	desgl.	5,68	33,8	1140	Handbohrung mit Pulver.	
desgl.	desgl.	6,08	40,0	1380		
Vorwiegend Keupermergel.	Österreich. Bauweise mit Rziha'scher Eisenrüstung.	12,0	50,0	1950	Gesamtkosten des Aushubs 579000 „ der Mauerung 454000 „ Stärke des Gewölbes im Mergel 63cm „ „ „ „ Kalk 47 „	
Dünngeschichteter Kalkstein und Mergel.	Österreich. Bauweise.	8,0	52,0	1600		
1/3 Plänermergel, 2/3 Plänerkalk.	—	—	—	1650	Gewölbestärke 80-95 cm	
1/4 der Länge Zechstein, 3/4 Grauwacke	—	—	—	1140		
Kalkige und thonige Sandschichten.	Österr. Bauweise mit Centralstrobenzimmerung.	—	—	1800	Gewölbe in Hausteine, Widerlager in Bruchsteinen. — Nicht einbegriffen 34600 M. für eine besondere Entwässerungsanlage.	
Grauwacke.	—	—	—	1175		
Ornathenthon, Mergel.	Engl. Bauweise.	6,75	57,7	1945	Ohne Ausmauerung.	
Wie vor und weißer Jurakalk.	desgl.	6,3	56,2	1748		
Felsendolomit.	desgl.	10,4	—	768	Mit Schacht von 45,5 m Teufe.	
Massiger Dolomit.	desgl.	7,6-10	51,5	1545		
Geschichteter Dolomit.	desgl.	7,6-10	51,5	1740	Mit Schacht von 60,3 m Teufe.	
Harter, feinkörniger Sandstein, roter Schiefer und lehmiger Schiefer.	Eisenrüstung nach Rziha.	—	—	1740		
Harter roter Sandstein und fester roter Thonschiefer.	—	—	—	1560	Mit Schacht von 60,3 m Teufe.	
Harter roter Thonschiefer und fester Sandstein.	desgl.	—	—	1450		
Quadersandstein.	—	—	—	1125	Mit Schacht von 60,3 m Teufe.	
Harter roter Sandstein mit quarzhaltigen Schichten.	—	—	—	1440		

Vergl. Baualanlagen der Köln-Gießener Eisenbahn und der Zweigbahn von Betzdorf nach Siegen, 1868.

Name des Tunnels	Eisenbahnlinie	Baujahr	Länge des Tunnels m	Größte lichte Weite m
31. Kochem (Kaiser Wilhelm-Tunnel)	Koblenz-Trier.	1874—78	4205	8,20
32. Haidenhübel . . . . .	Bayerische Staatsbahn.	1874	170	8,20
33. Hölle bei Langentheilen . . . . .	desgl.	1874—78	761	8,20
34. Armannsberg . . . . .	desgl.	1875—77	840	8,20
35. Gotthardsberg . . . . .	desgl.	1875	318	8,20
36. Wahmbeck . . . . .	Westfälische Eisenbahn.	1875—76	630	8,00
37. Schwelm . . . . .	Düsseldorf-Hörde.	1876—79	740	8,40
38. Tesch . . . . .	desgl.	1876—78	520	8,40
39. Dorp . . . . .	desgl.	1876—78	480	8,40
40. Dörrenberg . . . . .	desgl.	1877—78	170	8,40
41. Engelberg . . . . .	desgl.	1877—78	160	8,40
42. Rott . . . . .	desgl.	1877—78	350	8,40
43. Vattloh . . . . .	desgl.	1877—78	80	8,40
44. Altenburg . . . . .	Verbindungsbahn bei Altenburg.	1877—78	375	8,50
45. Remsfeld bei Oberbeisheim . . . . .	Berlin-Nordhausen-Wetzlar.	1876—79	904	8,20
46. Bischofferode . . . . .	desgl.	1876—79	1501	8,20
47. Frieda . . . . .	desgl.	1876—79	1065	8,20
48. Entenberg . . . . .	desgl.	1876—79	280	8,20
49. Heiligenberg . . . . .	desgl.	1876—79	195	8,20
50. Mühlenberg I. . . . .	desgl.	1876—79	341	8,20
51. desgl. II. . . . .	desgl.	1876—79	155	8,20
52. Küllstädt . . . . .	desgl.	1876—79	1529	8,20
53. Hirschhorn . . . . .	Neckarthalbahn.	1877—78	316	8,40

**b) Zweigleisige Tunnel**

1. Hauenstein . . . . .	Basel-Olten	1853—57	2500	8,00
2. Mühlethal . . . . .	Schweizerische Centralbahn.	1856—59	309	8,00
3. Brot . . . . .	Schweizerische Westbahn.	1858—60	495	8,00
4. La Laze . . . . .	desgl.	1859—60	38	8,00
5. Rochefort . . . . .	desgl.	1859—60	69	8,00
6. Champ Rouge . . . . .	desgl.	1859—60	85	8,00
7. Nirriennes . . . . .	desgl.	1859—60	154	8,00
8. Bois de Bau . . . . .	desgl.	1859—60	151	8,00
9. Moyats . . . . .	desgl.	1859—60	323	8,00
10. Place Bourgeoise . . . . .	desgl.	1859—60	67	8,00
11. Schwyzer . . . . .	Biasca-Locarno.	1873—75	285	8,00
12. Crocette . . . . .	desgl.	1873—74	275	8,00
13. Paridiso . . . . .	Lugano-Chiasso.	1873—75	704	8,00
14. Vallone . . . . .	Biasca-Locarno.	1874	69	8,00
15. Coldrerio . . . . .	Lugano-Chiasso.	1874	91	8,00
16. Bissone . . . . .	desgl.	1874—75	210	8,00

Gebirgsbeschaffenheit	Bauweise	Kosten für das Kubikmeter		Gesamtkosten f. d. lfd. m Tunnel M.	Bemerkungen.
		Aushub M.	Mauerung M.		
Grauwacken- und Thonschieferschichten.	Österr. Bauweise mit Centralstrebenzimmerung.	19,6	—	2100	Gesamtkosten der Mauerung rund 2 581 000 M.
Geschichteter Dolomit.	Engl. Bauw.	7,6—10,4	51,5	1565	Ganz ausgemauert, Handbohrung.
Gebräucher Schiefer.	Schmiedeis. Rüstung (R z i h a).	19,4	54,2	2800	Die Angaben beziehen sich nur auf eine 90,5 m lange, 260 m vom Mundloch beginnende, besonders druckhafte Strecke.
Schiefer, teils hart, teils verwittert.	—	—	—	2240	
Geschichteter Dolomit.	Engl. Bauweise.	7,6—10	51,5	{ 1530 730	Mit } Ausmauerung. Ohne }
Bunter Sandstein.	—	—	—	1150	
Verwitterter Grauwackenschiefer und Kalkstein.	Österr. Bauweise mit Centralstrebenzimmerung.	9,87	25—35	1400	Handbohrung mit Dynamit.
Schiefer mit vielen schaligen und kugeligen Absonderungen.	Belgische Bauweise.	—	—	1000	Handbohrung mit Dynamit.
Fester Kalkstein und Thonboden.	Österr. Bauweise mit Centralstrebenzimmerung.	—	—	1450	Handbohrung mit Dynamit.
Fester Kalkstein.	Belg. Bauw.	—	—	1150	Handbohrung mit Dynamit.
desgl.	desgl.	—	—	1150	Handbohrung mit Dynamit.
desgl.	desgl.	—	—	1080	Handbohrung mit Dynamit.
desgl.	desgl.	—	—	1100	Handbohrung mit Dynamit.
Diluvialthon.	Österreich. Bauweise mit R z i h a'scher Eisenrüstung.	13,4	49,1	2625	Ausschließlich Kosten für die Portale und Vorarbeiten.
Schieferthon (Röt), Braunkohlenthon, Letten, Sandsteinschutt und Sandsteinfels.	Österreich. Bauweise.*)	—	—	2389	*) An den druckreichsten Stellen R z i h a'sche Eisenrüstung.
Buntsandstein auf 9 m Länge schwimmendes Gebirge.	System R z i h a.**)	—	—	1415	***) Schmiedeiserne Rüstung.
Buntsandstein mit Rotschiefer.	—	—	—	1290	
Kalkstein.	Österreich.	—	—	1160	
Röt.	Bauw. mit	—	—	1528	
Röt, klüftiger Kalkstein.	Jochzimmerung.	—	—	1349	
Klüftiger Kalkstein.	—	—	—	1219	
Kalkstein (wagrecht geschichtet), Keupermergel.	—	—	—	1728	
Buntsandstein und Sandsteintrümmer.	Belg. Bauw. Zur Hälfte ohne Zimmerung.	6,2	{ 26,3 30,8	740 500	Mit 0,6 m starker Ausmauerung. Ohne Widerlager.

**in der Schweiz.**

Muschelkalk, Keuper und Lias (Oolith).	Englische Bauweise.	—	—	1538	3 Schächte.
Wasser.	—	—	—	905	Nur zur Hälfte gewölbt.
Molasse.	—	—	—	850	
Jurakalk.	—	—	—	735	Nur zur Hälfte gewölbt.
desgl.	—	—	—	740	
desgl.	—	—	—	850	3/4 gewölbt.
desgl.	—	—	—	1065	
desgl.	—	—	—	830	3/4 gewölbt.
desgl.	—	—	—	820	
desgl.	—	—	—	840	
Größtenteils Felsen.	—	—	—	2000	
1/3 Granit, 2/3 leichter Boden.	—	—	28,0	920	
Glimmerschiefer, Porphy und Dolomit.	—	—	—	768	
Leichter Boden mit eingelagerten Kieselsteinblöcken.	—	—	36,0	1560	
Sand, Gerölle, Lehm. Viel Wasser.	—	—	—	3225	
Leichter Boden, verwitterter Porphy.	—	—	—	1742	

Name des Tunnels	Eisenbahnlinie	Baujahr	Länge des Tunnels m	Größte lichte Weite m
<b>c) Zweigleisige Tunnel</b>				
1. Triebitz . . . . .	Pardubitz-Prag.	1842	508	8,20
2. Semmering, Haupttunnel . . . . .	Wien-Triest.	1849—52	1408	8,69
3. Ofen . . . . .	Pragerhof Ofen Uj Szöny.	1859—60	362	8,69
4. Ahrenwald . . . . .	Innsbruck-Bozen.	1864—66	165	8,22
5. Schupfen . . . . .	desgl.	1864—66	35	8,22
6. Unterberg . . . . .	desgl.	1864—66	162	8,22
7. Patsch . . . . .	desgl.	1864—66	176	8,22
8. Kl.-Schönberg . . . . .	desgl.	1864—66	89	8,22
9. Moser Wiesen . . . . .	desgl.	1864—66	74	8,22
10. Schloß Matrei . . . . .	desgl.	1864—66	124	8,22
11. Grottenstadl . . . . .	desgl.	1864—66	173	8,22
12. Deutscher . . . . .	desgl.	1864—66	79	8,22
13. Hochklausen . . . . .	desgl.	1864—66	389	8,22
14. Berg Isel . . . . .	desgl.	1864—67	662	8,22
15. Sonnenburg . . . . .	desgl.	1864—67	249	8,22
16. Schürfes . . . . .	desgl.	1864—67	118	8,22
17. Mühlthal . . . . .	desgl.	1864—67	872	8,22
18. St. Jodok . . . . .	desgl.	1864—67	468	8,22
19. Stafflach . . . . .	desgl.	1864—67	283	8,22
20. Gries . . . . .	desgl.	1864—67	159	8,22
21. Schelleberg . . . . .	desgl.	1864—67	97	8,22
22. Pontigl . . . . .	desgl.	1864—67	91	8,22
23. Ast . . . . .	desgl.	1864—67	61	8,22
24. Atzwanz . . . . .	desgl.	1864—67	54	8,22
25. Unterhall Deutscher . . . . .	desgl.	1865—67	57	8,22
26. Lupkow . . . . .	Erste ungarisch-galizische Eisenb.	1870—74	416	8,20
27. Ziskaberg . . . . .	Turnau-Kralup-Prag.	1870—73	303	8,23
28. Leitmeritz . . . . .	Nordwestbahn.	1872—73	297	8,20
29. Jungfernstern . . . . .	desgl.	1872—73	69	8,20
30. Lititz . . . . .	desgl.	1872—73	261	8,22
31. Petrovitz . . . . .	Chotzen-Halbstadt-Braunau.	1872—74	290	8,22
32. Bischofshofen . . . . .	Salzburg-Tirol.	1873—74	708	8,20
33. Quaderberg . . . . .	Nordwestbahn.	1873—74	399	8,22
34. Hemmrich . . . . .	Süd-Norddeutsche Verbindungs.	1873—74	527	8,20
35. Riegel . . . . .	desgl.	1873—75	137	8,20

Gebirgsbeschaffenheit	Bauweise	Kosten für das Kubikmeter		Gesamtkosten f.d. lfd.m Tunnel M.	Bemerkungen.
		Aushub M.	Mauerung M.		
<b>in Österreich.</b>					
Thon, Lehm und Sand.	Deutsche Bauweise.	—	—	3860	
Quarz, Kalkstein, Thonschiefer.	Österreich. Bauweise.	—	—	4360	9 Schächte.
Kalkstein.	—	6,5	37,8	1245	
Thonschiefer.	Englische Bauweise.	8,3	36,5	1230	
desgl.	—	8,6	41,2	1180	
desgl.	—	8,1	37,8	1310	
desgl.	—	8,5	46,5	1690	Bruch des Mauerwerks auf 14 m Länge.
Thonschiefer und blauer Tegel.	—	7,5	51,0	1950	Bruch des Mauerwerks.
Fester Thonschiefer.	Englische Bauweise.	7,3	40,0	1375	
Serpentin, Thonschiefer, Mergel.	desgl.	9,1	37,6	1260	
Porphy.	—	8,6	47,1	1425	
desgl.	—	8,8	45,5	1720	
desgl.	—	8,5	45,7	1620	
Thonschiefer.	Englische Bauweise.	7,7	33,6	1140	
desgl.	desgl.	7,9	36,8	1115	
desgl.	—	15,3	67,0	3320	Bruch des Mauerwerks auf 28 m Länge.
desgl.	Englische Bauweise.	13,0	53,3	2080	6 Seitenstollen.
desgl.	—	14,2	46,1	1700	1 Schacht und 1 Seitenstollen.
Kalkstein.	—	13,8	43,4	1225	
desgl.	—	9,6	38,2	1280	
desgl.	—	10,0	43,4	1600	
desgl.	—	10,3	46,0	1900	
Gneis und Schiefer.	—	18,6	51,2	2660	6 Schächte. 8 Seitenstollen.
Porphy.	—	8,5	45,1	1530	
desgl.	—	9,2	46,6	1860	
In Verwitterung begriffener Thonschiefer.	Teils österreich., teils belgische Bauweise.	—	—	17000	Gewölbe teilweise aus Granit, welcher 800 km weit herbeigeschafft werden mußte.
Grauwackeformation, Quarzit, quarzhaltiger Schiefer und Alaunschiefer.	—	24,8	78,0	2790	1 Schacht.
Lehm und gebräucher Felsen.	Österreich. Bauweise.	—	—	1885	2 Schächte.
Phonolit.	—	—	—	1000	2 Schächte.
Teils Kies, teils sehr fester Granit.	Österreich. Bauweise.	—	—	2150	
Fester blaugrauer Plänerkalk in mächtigen Schichten.	desgl.	—	—	1476	
Sandiger Schiefer mit Übergang zu Letten.	Belgische Bauweise.	—	—	1786	Mauerung 0,65 bis 0,8 m stark.
Harter trockner Thon, nasser Lehm, Schwimmsand und Sandstein.	Englische Bauweise.	—	—	1800 bis 2800	2 Schächte.
Granit.	desgl.	17,1	83,7	2110	2/3 gewölbt. Handbohr. mit Dynamit.
Gebräucher Granit und Gneis.	Österreich. Bauweise.	17,4	70,8	2570	Handbohrung mit Dynamit.

Tabelle XXXI. Zusammenstellung der

Name des Tunnels	Eisenbahnlinie	Baujahr	Länge des Tunnels	Größte lichte Weite
			m	m
<b>a) Einleisige Tunnel</b>				
1. Schee . . . . .	Wichlinghausen-Hattingen.	1880—83	721	5,08
2. Sayn . . . . .	Westerwaldbahn.	1882—83	144	desgl.
3. Burg . . . . .	desgl.	1882—83	113	desgl.
4. Teufelsberg . . . . .	desgl.	1882—83	106	desgl.
5. Mühlberg . . . . .	desgl.	1881—83	226	desgl.
6. Grenzau . . . . .	desgl.	1881—82	109	desgl.
7. Moorsberg . . . . .	desgl.	1882—83	86	desgl.
8. Hüttenfeld . . . . .	desgl.	1883	41	desgl.
9. Marienthal . . . . .	Altenkirchen-Au.	1885—87	1041	desgl.
<b>b) Einleisige Tunnel</b>				
1. Luzern . . . . .	Schweizerische Centralbahn.	1857	319	5,40
2. Pierre Pertuy . . . . .	Jura-Bern-Luzern.	1871—73	1295	4,80
3. La Croix . . . . .	desgl.	1873—76	3000	5,20
4. Glovelier . . . . .	desgl.	1873—76	2000	5,20
5. Villangeau . . . . .	Schweizerische Westbahn.	1874—76	425	4,00
6. Verriere de Montier . . . . .	Jura-Bern-Luzern.	1875—77	606	5,20
7. Kühweid . . . . .	Töfsthalm.	1875—76	132	5,20
8. Haltberg . . . . .	desgl.	1877	30	5,20
<b>c) Einleisige Tunnel</b>				
1. Langsteg . . . . .	Marburg-Villach.	1858—61	109	5,37
2. Homberg . . . . .	desgl.	1858—61	330	5,69
3. Tacsic . . . . .	St. Peter-Fiume.	1868—72	251	5,00
4. Küllenberg . . . . .	desgl.	1868—72	313	5,00
5. Moloberce . . . . .	desgl.	1868—73	628	5,00
6. Welsberg . . . . .	Villach-Franzensfeste.	1870—71	140	5,00
7. Gr.-Wielenbach . . . . .	desgl.	1870—71	189	5,00
8. Kl.-Wielenbach . . . . .	desgl.	1870—71	61	5,00
9. Ochsenhügel . . . . .	desgl.	1869—70	257	5,00
10. Lamprechtsburg . . . . .	desgl.	1870—71	298	5,00
11. Narein . . . . .	St. Peter-Fiume.	1870—72	189	5,00
12. Rukavac . . . . .	desgl.	1870—73	313	5,00
13. Narvarov . . . . .	Süd-Norddeutsche Verbindungs.	1873—75	141	6,00
14. Haratitz . . . . .	desgl.	1873—75	188	4,90

Gesamtkosten einleisiger Tunnel.

Gebirgsbeschaffenheit	Bauweise	Kosten für das Kubikmeter		Gesamtkosten f.d. lfd.m Tunnel M.	Bemerkungen.	
		Aushub M.	Mauerrung M.			
<b>in Deutschland.</b>						
Kohlensandstein.	Belg. Bauw.	9,1	35,5	610	Sämtliche unter 1. bis 9. aufgeführte Tunnel sind in dem durch Fig. 8, Taf. IV dargestellten Querschnitt hergestellt. Die Stärke des aus Bruchsteinen ausgeführten Gewölbes und der Widerlager beträgt 0,5 m.	
Grauwacke und Grauwackenschiefer.	desgl.	7,8	25,1	465		
Thonschiefer und Grauwackenschiefer.	desgl.	6,3	23,5	401		
Feste Grauwacke und Grauwackenschiefer.	desgl.	7,3	20,5	410		
Grauwackenschiefer.	desgl.	8,0	16,3	402		
Rheinische Grauwacke.	desgl.	8,0	23,2	457		
Grauwacke mit Thonadern.	desgl.	10,1	16,2	472		
desgl.	desgl.	8,8	25,5	502		
Grauwackenschiefer.	desgl.	11,8	23,6	588		
<b>in der Schweiz.</b>						
Fester Molassesandstein.	—	—	—	905	370 m gewölbt.	
Kompakter Kalkstein und Mergel.	—	—	—	720		
Mergel und Oolith.	—	—	28,5	1065		
Kalkstein, Mergel und Oolith.	—	—	36,0	1060		
Molasse.	—	—	—	628		1/2 gewölbt.
Kalkstein.	—	—	28,8	557		160 m gewölbt.
Nagelfluh und leichter Thonmergel.	—	—	26,4	522		1/2 gewölbt.
desgl.	—	—	24,8	534		
<b>in Österreich.</b>						
Fester Thonschiefer.	Mit offenem Einschnitt.	14,4	61	1800		
Lehm, Sand und blauer Thonschiefer.	Österr. Bauw.	10,7	74,5	2820		
Thonschiefer.	Belg. und engl. Bauweise.	11,4	28,5	1000		
desgl.	desgl.	11,7	37,4	1394		
desgl.	Belg. Bauw.	8,8	30,4	900		2 Schächte.
Geröll.	Österr. Bauw.	13,6	46,1	2205		Mauerwerk aus Granit.
Verwitterter Glimmerschiefer.	desgl.	13,2	44,5	1100		Mauerwerk aus Granit.
desgl.	desgl.	14,1	47,5	1125		Mauerwerk aus Granit.
Verwitterter Granit.	desgl.	15,8	53,4	1395		Mauerwerk aus Granit.
Glimmerschiefer, Geröll und Thon.	desgl.	13,4	45,0	1155		Mauerwerk aus Granit.
Thonschiefer.	Belg. und engl. Bauweise.	10,2	34,2	860		
Karst-Kalkstein.	—	15,9	34,8	630		90 m gewölbt.
Harter blaugrauer Thonschiefer mit Quarzadern.	—	19,0	—	682		
Fester Thonschiefer (nicht gewölbt), Schiefer, Kalkstein und Granitschiefer (gewölbt).	Österr. Bauw.	19,0	59,5	924		1/2 gewölbt.

## Litteratur.

### 1. Hilfswissenschaften (Geologie und Bergbaukunde).

- Ponson. Handbuch des Stein- und Braunkohlen-Bergbaues. Für deutsche Verhältnisse bearbeitet von Dr. C. Hartmann. 2. Aufl. Weimar 1863.
- Gätzschmann. Bergbaukunst. 1866.
- v. Cotta, B. Geologie der Gegenwart. Leipzig 1866.
- Senft, F. Lehrbuch der Mineralien und Felsartenkunde. Jena 1869.
- Veith, H. Deutsches Bergwörterbuch. 1870.
- H. von Dechen. Die nutzbaren Mineralien und Gebirgsarten im Deutschen Reiche. Berlin 1873.
- Habets, M. A. Exploitation des mines. Revue universelle 1874.
- Zittel, K. Aus der Urzeit. 2. Aufl. München 1875.
- André. Coal mining. London 1876.
- Brauns, D. Die technische Geologie. Halle 1878.
- Gätzschmann, M. F. Sammlung bergmännischer Ausdrücke mit Hinzufügung der englischen und französischen Synonyme. 2. Aufl. Freiberg 1881.
- Serlo, Alb. Leitfaden der Bergbaukunde. Berlin 1884.
- Wagner, C. J. Die Beziehungen der Geologie zu den Ingenieurwissenschaften. Wien 1884.
- Kalkowsky, E. Elemente der Lithologie. Heidelberg 1886.
- Credner, H. Elemente der Geologie. 6. Aufl. Leipzig 1887.
- Köhler, G. Lehrbuch der Bergbaukunde. 2. Aufl. Leipzig, W. Engelmann 1887.
- Nivoit, E. Géologie appliquée à l'art de l'ingénieur. Paris 1887.
- v. Fritsch, G. Allgemeine Geologie. Stuttgart 1888.
- v. Gümbel, W. C. Grundzüge der Geologie. Kassel 1888.
- Suefs, E. Das Antlitz der Erde. 3 Bde. Prag und Leipzig 1885—1889.
- Leonhard-Hörnnes. Grundzüge der Geognosie und Geologie. 2. Aufl. Leipzig 1889.
- Bechte, R. „Bremnerscheinungen“ in Tunneln. Schweiz. Bauz. 1890, II. S. 47.
- Kayser, E. Lehrbuch der geologischen Formationskunde. Stuttgart 1891.
- Treptow, E. Grundzüge der Bergbaukunde einschliesslich der Aufbereitung. Wien 1892.
- Kayser, E. Allgemeine Geologie. Stuttgart 1893.
- Stapff, F. M. Was kann das Studium der dynamischen Geologie u. s. w. besonders dem Bauingenieur nützen? Zeitschr. f. prakt. Geologie 1893, S. 445.
- Venator, M. Deutsch-spanisch-französisch-englisches Wörterbuch der Berg- und Hüttenkunde. Leipzig 1894.
- Neumayr, M. Erdgeschichte. 2 Bde. 2. Aufl. Leipzig u. Wien 1895.

### 2. Tunnelbau im allgemeinen. Geschichte desselben.

#### a) Selbständige Schriften.

- Leo. Theoretisch-praktische Anleitung zum Tunnelbau. Quedlinburg und Leipzig 1853.
- Lorenz. Praktischer Tunnelbau. Wien 1860.
- Haupt, H. Tunneling by machinery. 1867.
- Rziha, Fr. Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst. Berlin 1872.
- Schön. Der Tunnelbau. Wien 1874.
- Könyves-Tóth, M. Über Tunnelbau im allgemeinen und über die Ursache der Deformationen bei Tunnelmauerungen u. s. w. Wien 1875.
- Lorenz, A. Tunnelbau mit Bohrmaschinenbetrieb. Wien 1877.
- Drinker, H. S. Tunneling, explosive compounds and rock drills. New-York 1878.
- Dolezalek. Tunnelbau. Hannover 1890.
- Simms, F. W. Practical Tunneling. London 1895.
- Prelini, Ch. Tunneling. London 1901.

## b) In Zeitschriften.

- Rziha. Studien über Tunnelbau. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1858.  
 Die Tunnelbau-Sprache. Dasselbst 1859.  
 Rziha. Beiträge zum Tunnelbau. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1860, S. 374.  
 v. Ritterger. Über Tunnelbau. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1861, S. 107.  
 Schleifenbaum. Über den Tunnelbau. Civ.-Ing. 1864, S. 43 u. a.  
 Streckert. Die Entwicklung und die Geschichte des Tunnelbaues. Deutsche Bauz. 1868, S. 275.  
 Rziha. Notizen über Tunnelbau. Deutsche Bauz. 1869, S. 283.  
 Gripper. Practical notes on railway-tunneling. Engineer 1878, No. 1185—1195.  
 Der erste Eisenbahn-Tunnel in den Vereinigten Staaten (Tunnel der Alleghany-Portage-Bahn, 1831—1833 erbaut).  
 Engineer 1878, März, S. 179.  
 Lang. Über den gegenwärtigen Stand des Tunnelbaues. Allg. Bauz. 1881, S. 41.  
 Tunnel durch den Cul de Traverselle, i. J. 1480 erbaut. Mém. de la société des ing. civ. 1882, Febr. S. 168.  
 — Wochenschr. d. Ver. deutscher Ing. 1883, S. 153.  
 Wichtigkeit der Untersuchung der geognostischen Verhältnisse bei Tunnelanlagen. Deutsche Bauz. 1886, S. 508 u. a.  
 Über den Bau großer Tunnel mittels Prefsluft. Schweiz. Bauz. 1887, Febr. S. 43.  
 Köbrich. Ein neuer Apparat zur Ermittlung des Streichens der Gebirgsschichten in Bohrlöchern. Preufs.  
 Zeitschr. f. Berg-, Hütten- u. Salinenw. 1888, S. 255.  
 Kaufmann, J. Baubetriebsplan für Alpentunnel. Deutsche Bauz. 1888, S. 20 u. 25.  
 Unterhaltung der Eisenbahntunnel. Dasselbst S. 477.  
 Meyer, J. Note résumée sur l'histoire du percement des grands tunnels sous les Alpes. Schweiz. Bauz. 1888,  
 II. S. 36, 42 u. 51.  
 Der Schumitzer Entwässerungstunnel, 16534 m lang, nach 100-jähriger Arbeit 1878 vollendet. Génie civil 1888,  
 Bd. 12, S. 365.  
 Kaufmann, J. Über die Ausführung der Tunnel in pfeisbaren und blühenden Gebirgsarten. Deutsche Bauz.  
 1889, S. 300 u. 311.  
 Ladame. Über die Kosten der Tunnel. Ann. des travaux publics 1890, S. 149.  
 Hulek, E. Gleisvermehrung in Tunneln. Deutsche Bauz. 1891, S. 37 u. 50.  
 Tunnelarbeiten in weichem Boden. Engng. news 1892, I. S. 64.  
 Die längsten Tunnel der Welt. Baugewerkszeitung 1892, S. 1077.  
 Verwandlung eines Tunnels der Caledonischen Eisenbahn in einen Einschnitt von 14 bis 18 m Tiefe. Engineer  
 1892, I. S. 346. — Engng. news 1892, I. S. 410.  
 Schneller Vortrieb des Tequexquial-Entwässerungs-Tunnels. Engng. news 1893, I. S. 473.  
 Portal des Redhill-Tunnels im Zuge der Midland-Bahn. Engineer 1894, I. S. 27.  
 Die Anwendung elektrischer Kraftübertragung im Tunnelbau. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1894,  
 No. 46, S. 18.  
 Der Tunnel durch den Pikes Peak in Colorado (mit 32 km Länge der längste Tunnel der Erde, soll bis 1906  
 fertig werden). Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1896, S. 325; 1897, S. 427. — Schweiz. Bauz.  
 1896, Bd. 27, S. 158. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1897, S. 662.  
 Blum, O. Tunnelbauten der neueren städtischen Bahnen. Bauing.-Ztg. 1900, S. 113; 1901, S. 151 u. 173.  
 Tunnel, Tunnelschleifen und Tunnelschraubenlinien. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1900, S. 1251.  
 Blum, O. Lüftung der städtischen Untergrundbahnen. Bauing.-Ztg. 1901, S. 238.

## 3. Städtische Untergrundbahnen.

(Vergl. auch das Litteratur-Verzeichnis S. 272 unter 2. c.)

## a) London.

- Die Tunnelquerschnitte der Metropolitan-Railway-Extension in London. Engineering 1884, Juni, S. 507.  
 Ausbesserung des Tunnels zwischen Kings Cross- und Gower-Street der Untergrundbahn in London. Centrbl.  
 d. Bauverw. 1886, S. 7.  
 Tunnel der Untergrundbahn von London-Brücke nach Southwark. Engineer 1887, Okt. S. 297. — Der Tech-  
 niker 1887, S. 6.  
 Die neue Untergrundbahn in London. Génie civil 1890, Bd. 17, S. 226; Bd. 18, S. 2. — Zeitschr. d. Ver.  
 deutscher Ing. 1890, S. 858. — Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S. 378. — Scientific  
 Amer. Suppl. 1890, S. 12315. — Engineer 1890, II. S. 382. — Centrbl. d. Bauverw. 1891, S. 18;  
 1892, S. 104.

- Tunnel der elektrischen Untergrundbahn in London. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1892, S. 53. — Génie civil 1893, Bd. 23, S. 293.
- Der Waterloo-Tunnel der elektrischen Untergrundbahn in London. Engineer 1895, II. S. 84 u. 114. — Engng. record 1895, Nov. S. 454. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1896, S. 117, 133, 155 u. 171.
- Die Untertunnelung der Londoner Strafsen. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1896, S. 819.
- Untertunnelung der Distriktbahn in London. Schweiz. Bauz. 1896, Bd. 28, S. 158. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1896, S. 828; 1897, S. 61.
- Neue Untergrundbahnen in London. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1897, S. 729. — Schweiz. Bauz. 1897, Bd. 30, S. 99. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1898, S. 85. — Génie civil 1898, Bd. 33, S. 121.
- Herstellung der Central-London-Untergrundbahn. Engineering 1897, April, S. 480; 1898, I. S. 329, 485 u. 500. — Engng. news 1898, I. S. 325. — Engng. record 1898, Bd. 37, S. 448. — Deutsche Bauz. 1899, S. 123.
- Elektrische Waterloo- und City-Untergrundbahn in London. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1899, S. 206.
- Neue Londoner Untergrundbahn. Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1900, S. 384.
- Verlängerung der elektrischen Untergrundbahn „City and South London.“ Revue générale des chemins de fer 1900, II. S. 655.
- Erderschütterungen der Londoner Centralbahn. Deutsche Bauz. 1901, S. 121. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1901, S. 145.
- Die Untergrundbahnen in London. Engineering 1901, Okt., S. 586.

#### b) Paris.

- Entwurf zu einer Untergrundbahn für Paris. Nouv. ann. de la constr. 1890, S. 178. — Génie civil 1890, Bd. 18, S. 22 u. 69. — Ann. des travaux publics 1890, S. 196.
- Tunnelbau der elektrischen Untergrundbahn in Paris. Engng. record 1892, S. 3. — Ann. des travaux publics 1892, S. 112; 1893, I. S. 61. — Revue générale des chemins de fer 1895, Nov. S. 187. — Nouv. ann. de la constr. 1895, Okt. S. 146. — Revue techn. 1897, S. 515.
- Untergrundbahn in Paris zwischen dem Nordbahnhof, dem Bahnhof Montparnasse und der Sceaux-Linie. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1900, S. 132. — Engineer 1900, I. S. 84. — Engineering 1900, I. S. 638 u. 673.
- Godfernaux, R. Die Pariser Untergrundbahn „Métropolitain“. Revue générale des chemins de fer 1900, II. S. 421.
- Dumas. Die Pariser Untergrundbahn. Génie civil 1900, Bd. 37, S. 197; 1901, Bd. 38, S. 195, 277, 301, vergl. auch: Engng. news 1900, II. S. 392. — Nouv. ann. de la constr. 1901, S. 73, 94, 107, 114, 130.
- Frahm. Bau und Betrieb der Pariser Stadtbahn. Centralbl. d. Bauverw. 1901, S. 531 u. 544.

#### c) Glasgow.

- Untergrundbahn in Glasgow. Engineering 1888, II. S. 330. — Centralbl. d. Bauverw. 1891, S. 209.
- Tunnel der neuen Untergrundbahn in Glasgow. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1892, S. 777. — Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 504, 516 u. 551. — Génie civil 1894, Bd. 24, S. 260. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1894, S. 340. — Engineer 1896, II. S. 558.
- Untertunnelung eines Häuserblocks in Glasgow. Engng. record 1894, Bd. 29, S. 220. — Génie civil 1894, Bd. 24, S. 361.
- Neue Untergrundbahn in Glasgow. Engineering 1895, II. S. 85; 1896, II. S. 573; 1897, I. S. 230. — Engng. record 1897, I. S. 379. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1897, S. 7. — Nouv. ann. de la constr. 1898, S. 33. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1898, S. 283.

#### d) Berlin.

- Tunnel der für Berlin geplanten elektrischen Untergrundbahn. Der Techniker 1892, S. 146.
- Entwurf einer elektrischen Untergrundbahn für Berlin. Deutsche Bauz. 1892, S. 39. — Ann. f. Gewerbe u. Bauw. 1892, S. 1. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1892, S. 173.
- Probetunnel für die Berliner Untergrundbahnen zwischen Stralau und Treptow. Centralbl. d. Bauverw. 1896, S. 414. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1896, S. 681. — Ann. f. Gewerbe u. Bauw. 1896, II. S. 110. — Deutsche Bauz. 1896, S. 531. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1896, S. 550. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1897, S. 423. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1897, S. 598.

Lauter, W. Die Berliner Unterpflasterbahn und der Spree-Tunnel. Deutsche Bauz. 1898, S. 126. — Zeitschr. f. Arch. u. Ing.-Wesen, Wochenausgabe 1898, S. 245.

Die Tunnelbauten der Berliner Untergrundbahn. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1900, S. 470.

Tunnel der elektrischen Untergrundbahn am Potsdamer Platz in Berlin. Schweiz. Bauz. 1901, I. S. 118.

Das Berliner Unterpflasterbahnnetz. Bauing.-Ztg. 1901, S. 231.

Tunnelquerschnitte der elektrischen Hoch- und Untergrundbahn in Berlin. Deutsche Bauz. 1901, S. 518 u. 529.

#### e) New-York.

Entwurf einer Tunnelbahn für New-York. Centralbl. d. Bauverw. 1886, S. 47. — Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1891, S. 112. — Engng. news 1892, I. S. 320 u. 406.

Die Untergrundbahn für New-York. Engng. news 1899, S. 380. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1900, S. 262 u. 302.

v. Emperger, Fr. Neue Unterpflasterbahn in New-York. Engineer 1900, I. S. 424.

New-York Rapid Transit, Strecken 2 u. 3. Engng. record 1900, Bd. 42, S. 496; Strecken 11, 13 u. 14, 1901, Bd. 43, S. 346.

Prelimi. Der neue Subway in New-York-City. Engineering 1901, Okt., S. 477, 507, 547, 574; Nov., S. 637, 674, 699 u. 737.

Die Tunnelbauten der 4. Abteilung der Stadtbahn in New-York. Génie civil 1901, Bd. 39, S. 344. — Engng. record 1901, Bd. 43, S. 622.

Unterfahrung des Columbus-Denkmal in New-York durch die Stadtbahn. Engng. record 1901, Juli, S. 77.

#### f) Boston.

Entwurf zu einem Strafsenbahn-Tunnel unter Boston-Comm. Engng. news 1893, I. S. 259.

Entwurf für Tunnelbauten für eine elektrische Untergrundbahn in Boston. Engng. news 1895, I. S. 348.

Die Bostoner Untergrundbahn. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1897, S. 629.

Tunnelanlagen für die elektrische Untergrundbahn in Boston. Engineer 1897, I. S. 410. — Engng. record 1897, I. S. 159 u. 511, II. S. 114; 1898, Bd. 38, S. 248. — Engng. news 1897, I. S. 76; 1898, I. S. 74. — Allg. Bauz. 1897, S. 109.

Die Bostoner Untergrund- und Hochbahn. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1898, S. 1355 u. 1375. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1898, S. 8, 28 u. 44; 1899, S. 5, 22 u. 39. — Génie civil 1898, Bd. 33, S. 78. — Engng. record 1899, Bd. 39, S. 210. — Revue techn. 1899, S. 130.

v. Emperger. Erfolge und Erfahrungen mit der Bostoner Untergrundbahn. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1900, S. 617.

Der East-Boston-Tunnel. Schweiz. Bauz. 1900, II. S. 199. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1900, S. 548. — Engng. record 1901, Bd. 43, S. 104, 273 u. 622.

Tunnel zwischen Boston und East-Boston. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1901, S. 860. — Engng. news 1901, I. S. 242. — Génie civil 1901, Bd. 39, S. 273.

Unterwassertunnel der Strafsenbahn zu Boston. Engineer 1901, Aug., S. 196.

#### g) Verschiedene städtische Tunnelanlagen.

Probestrecke eines kleinen Tunnels für eine unterirdische Bahn. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1870, S. 576.

Der Washington-Strafsentunnel unter dem Chicagoflufs. Génie civil 1892, Bd. 21, S. 265.

Der York-Strafsentunnel der Ringbahn zu Baltimore. Engng. news 1892, I. S. 26 u. 53.

Tunnel der Ringbahn in Baltimore. Railroad gazette 1892, S. 313, 578 u. 711.

Neuer Strafsenbahn-Tunnel in Chicago. Tijdschr. van Ing. Verhandl. 1892/93, S. 20.

Die Metropolitan-Untergrundbahn in Budapest. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1899, S. 349; 1900, S. 648.

Städtische Tunnelbauten in Chicago. Engng. record 1900, Bd. 41, S. 97.

Zusammenstellung von Querschnitten verschiedener Untergrundbahnen. Deutsche Bauz. 1900, S. 226.

### 4. Stollen und kleinere Tunnel für verschiedene Zwecke.

Stollen für die Wasserversorgung von Cleveland. Ann. des ponts et chaussées 1872, S. 184.

Stollen für die Wasserversorgung von Chicago. Journ. of the Frankl. Inst. 1873, I. S. 365; Scientific american 1873, Mai, S. 340.

Der Rotschöneberger Entwässerungsstollen im Freiburger Reviere. Engng. news 1877, S. 352.

- Stollen für einen Entwässerungskanal in New-York. *Scientific american* 1877, Nov., S. 319.
- Förderungsstollen der Brookfield-Kohlengruben im Distrikte Trumbell (Ohio). (Schwierige Vermessungsarbeiten). *Engng. news* 1877, April, S. 95.
- Stollen für einen Entwässerungskanal („Geest-Stammisiel“) in Hamburg. *Deutsche Bauz.* 1878, S. 185.
- Stollen für die Wasserversorgung der Stadt Baltimore. *Scientific american* 1879, April, S. 241.
- Seefehlner, J. Der Stollen Joseph II. zu Schemnitz (Ungarn). *Deutsche Bauz.* 1879, S. 375.
- Stollen für die Entwässerung der Stadt Boston (Dorchester Bay-Tunnel). *Engineer* 1882, Jan., S. 41.
- Stollen für die Wasserversorgung der Stadt Sidney. *Engineering* 1885, Jan., S. 44.
- Stollen für die Wasserversorgung der Stadt Christiania aus dem Ojern-See (Entwurf). *Norsk teknist Tidsskrift* 1886, S. 33.
- Entwässerungsstollen bei Anthedon in Griechenland. *Génie civil* 1886, Okt., S. 361.
- Stollen der neuen Wasserleitung von New-York. *Schweiz. Bauz.* 1886, Jan., S. 22.
- Schleusentunnel in Minneapolis (Amerika). *Engineer* 1887, Mai, S. 176.
- Entwurf für einen Fußgänger-Tunnel in Chicago. *Deutsche Bauz.* 1889, S. 299.
- Tunnelarbeiten bei Herstellung der neuen Croton-Wasserleitung für New-York. *Engineer* 1890, II. S. 341, 361, 385, 404 u. 423.
- Seilbahn-Tunnel unter dem Chicagoflufs in Chicago. *Scientific american*, Suppl. 1890, S. 11854. — *Nouv. ann. de la constr.* 1890, S. 121.
- Der Post-, Gepäck- und Personen-Tunnel auf dem Hauptbahnhof in Frankfurt a. M. *Zeitschr. f. Bauw.* 1891, S. 427.
- Tunnel der Vyrnwy-Wasserleitung für Liverpool. *Engng. record* 1892, Bd. 26, S. 108, 123 u. 141.
- Tunnel zur Ausnutzung der Wasserkraft des Niagarafalles. *Railroad gazette* 1892, S. 136. — *Engng. news* 1892, I. S. 22, 33, 95 u. 213; 1892, II. S. 614; 1894, I. S. 426 u. 447. — *Der Techniker* 1892, S. 161. — *Engineer* 1893, I. S. 93. — *Scientific american* 1894, II. S. 245. — *Engineering* 1894, II. S. 343. — *Génie civil* 1894, Bd. 25, S. 216.
- Der 220 m lange Hopkins-Tunnel der West-Virginia- und Pittsburgh-Eisenbahn. *Railroad gazette* 1892, S. 46.
- Fußgängertunnel zwischen zwei Bahnhöfen in London. *Schweiz. Bauz.* 1892, Bd. 20, S. 40.
- Der Four-Mile-Tunnel der Chicagoer Wasserwerke. *Railroad gazette* 1892, S. 609.
- Der 4,2 km lange Kelty-Long-Tunnel des Wasserwerks in Glasgow. *Engng. record* 1892, S. 145.
- Der Haupt-Entwässerungs-Kanal der Stadt Brooklyn (Anwendung der Tunnel-Nadeln). *Scientific american* 1892, I. S. 69.
- Der Tunnel unter dem Mersey-Flufs für die Liverpooler Wasserleitung. *Engineering* 1892, II. S. 17.
- Dolezalek. Über den tunnelartigen Kanalbau in Hannover. *Zeitschr. d. Arch- u. Ing.-Ver. zu Hannover* 1893, S. 271.
- Entwässerungstunnel der Stadt Mexiko. *Engineer* 1893, I. S. 225.
- Tunnel für eine Gasleitung unter dem East-River zwischen Ravenswood und New-York. *Engng. news* 1894, I. S. 172; II. S. 23 u. 97. — *Génie civil* 1894, Bd. 25, S. 36. — *Engng. record* 1894, Bd. 29, S. 233. — *Journ. d. Ver. engl. Civil-Ing.* 1895, Mai, S. 409. — *Engng. news* 1895, II. S. 19.
- Hyde-Park-Tunnel des Wasserwerks zu Chicago. *Engng. news* 1894, I. S. 452.
- Tunnelbauten des Glasgower Wasserwerks. *Engineering* 1894, I. S. 536 u. 601.
- Stradal, A. G. Tunnelbauten der Wasserversorgung von Chicago. *Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver.* 1894, S. 493. — *Engng. record* 1896, II. S. 257; 1898, Bd. 37, S. 538 u. 562; 1898, Bd. 38, S. 73.
- Tunnel der West-Chicago-Kabelbahn unter dem Chicago-Flufs. *Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw.* 1894, S. 446.
- Kanaltunnel unter dem Bahnhof Altenburg. *Civilingenieur* 1894, S. 295.
- Tunnel der Van Buren-Straße in Chicago. *Engng. record* 1894, Bd. 29, S. 299. — *Engng. news* 1894, I. S. 294. — *Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb.* 1894, S. 356.
- Tunnel auf dem Waverley-Bahnhof in Edinburgh. *Engineer* 1894, II. S. 319.
- Bau eines Abwässerkanal-Tunnels in Triebtsand zu Rochester. *Engng. news* 1895, I. S. 123.
- Tunnel der Wasserwerke von Milwaukee. *Engng. record* 1895, II. S. 229.
- Tunnel für die Entwässerungsleitung „de la Concorde“ unter der Seine zu Paris. *Génie civil* 1896, Bd. 28, S. 289.
- Entwässerungstunnel aus Beton in Brüssel. *Engng. news* 1896, I. S. 195.
- Donau-Tunnel des Wasserwerks von Budapest. *Deutsche Bauz.* 1896, S. 537.
- Lydecker-Tunnel für die Wasserleitung von Washington. *Engng. record* 1896, S. 171.
- Brock-Strafsentunnel in Montreal. *Engng. record* 1896, S. 256.
- Schwabstraftentunnel in Stuttgart. *Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb.* 1896, S. 497.

- Verlängerung des Tunnels unter der Bold-Straße mit unterirdischer Station der Mersey-Eisenbahn. Minutes of proceedings des engl. Ingenieur-Vereins 1896, Bd. 73, S. 357.
- Tunnelquerschnitte der Naschua-Wasserleitung für Boston. Engng. news 1896, I. S. 53. — Engng. record 1896, S. 205.
- Tunnel zur Trockenlegung des Thales von Mexico. Deutsche Bauz. 1896, S. 447.
- Strickler-Tunnel in Colorado-Springs. Engng. record 1896, II. S. 178.
- Entwässerungstunnel und Sammelstollen von Clichy in Paris. Nouv. ann. de la constr. 1896, S. 66. — Revue techn. 1896, S. 185. — Ann. des ponts et chaussées 1897, I. S. 267.
- Umlauftunnel der Wienthal-Wasserleitung. Allg. Bauz. 1898, S. 63.
- Tunnel für die Wasserversorgung von Cleveland aus dem Erie-See. Engng. record 1898, Bd. 37, S. 492; 1898, Bd. 38, S. 52. — Engng. news 1898, II. S. 82.
- Nord-Yarra-Siel-Tunnel zu Melbourne. Engng. record 1899, Bd. 39, S. 425.
- Fußgängertunnel unter dem Ely-Flufs. Engineer 1899, I. S. 231.
- Vollendung des verlassenen Wasserleitungs-Tunnels in Washington. Engng. news 1899, II. S. 410.
- Tunnelanlagen für Kanalisationszwecke (subways). Engng. record 1900, Bd. 41, S. 176.
- Untergrund-Strecke des Marne-Saône-Kanals. Revue techn. 1900, S. 344.
- Wasserversorgungs-Tunnel von Chicago. Engng. news 1900, II. S. 306.
- Tunnel der Kraftanlage am Niagara. Engng. record 1901, Bd. 43, S. 150.
- Kanaltunnelbauten in Brooklyn in feinem Sande. Engng. record 1901, Bd. 43, S. 389.
- Tunnelquerschnitte der städtischen Wasserleitung zu Boston. Engng. record 1901, Bd. 43, S. 419.

## 5. Mont Cenis-Tunnel.

- Trafora dei alpi fra Bardonnèche e Modane. Torino 1863.
- Baumeister. Mitteilungen über den Tunnelbau am Mont Cenis. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1863, S. 453.
- Willy. Über die Durchbohrung des Mont Cenis. Allg. Bauz. 1862, Heft VI bis VIII.
- Streckert. Die Durchbrechung der Alpen zwischen Bardonnèche und Modane. Zeitschr. f. Bauw. 1864, S. 52.
- Shopwith. Arbeiten am Mont Cenis-Tunnel. Civ. eng. and arch. journal 1866, Okt., S. 284.
- Buresch. Über den Mont Cenis-Tunnel (Vortrag). Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1869, S. 10.
- Gesamtkosten des Mont Cenis-Tunnels. Engineer 1871, Sept., S. 145. — Engng. 1871, Sept., S. 141.
- Elie de Beaumont. Das vom Mont Cenis-Tunnel durchsetzte Gebirge. Engng. 1871, S. 212.
- Bau des Mont Cenis-Tunnels. Engineer 1871, Okt., S. 247. — Engng. 1871, Okt., S. 241.
- Kossuth. Der Mont Cenis-Tunnel. Engineering 1871, I. S. 347 u. a.
- Mitteilungen über den Bau. Engineering 1871, II. S. 38 u. a.
- Geschichte des Mont Cenis-Tunnels. Génie industr. 1871, S. 175.
- Die Durchbrechung des Mont Cenis. Prakt. Maschinenkonstrukteur 1871, S. 86.
- Zwick. Der Mont Cenis-Tunnel. Zeitschr. f. prakt. Bauk. 1873, S. 222.
- Shopwith. Über den Mont Cenis-Tunnel (Vortrag). Engineer 1873, März, S. 191. — Engng. 1873, März, S. 218.
- Verlegung einer Strecke in der Nähe des Nordportales des Mont Cenis-Tunnels. Mémoires de la soc. des ing. civils 1881, Febr., S. 198. — Nouv. ann. de la constr. 1881, S. 26.

## 6. Gotthard-Tunnel.

### a) Selbständige Schriften.

- Kauffmann. Der Bau des Gotthard-Tunnels. 1875.
- Colladon. Die maschinellen Arbeiten zur Durchbohrung des Gotthard-Tunnels. Zürich 1876.
- Rinecker, H. Das Gotthard-Unternehmen. München 1878.
- Könyves-Tóth. Der Durchschlag des Gotthard-Tunnels und seine Vollendung. Zürich 1880.
- Rapports du conseil fédéral suisse aux gouvernements des états, qui ont participé à la subvention de la ligne du St. Gotthard, sur la marche de cette entreprise. Bern 1874—1882.

### b) In Zeitschriften.

- Klose. Die Gotthard-Bahn. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1871, S. 17.
- Geognostische Verhältnisse des Gotthard-Tunnels. Journ. of the Frankl. Inst. 1872, Juli, S. 5, vergl. daselbst März, S. 151.

- Mitteilungen über den Gotthard-Tunnel. Ann. des ponts et chaussées 1873, I. S. 330. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1873, S. 303.
- Kontraksbedingungen. Polytechn. Centralbl. 1873, S. 1362.
- Bauausführung. Ann. industr. 1873, Okt., S. 422; daselbst 1874, März, S. 270 u. a. — Deutsche Bauz. 1874, S. 55 u. 220.
- Bergeron. Über den Gotthard-Tunnel. Engineer 1874, Jan., S. 19.
- Geschichte und Bau desselben. Revue univ. des mines 1874, Bd. 35, S. 91.
- Rziha. Beurteilung des St. Gotthard-Tunnelbaues. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1875; vergl. Eisenbahn 1875, Bd. II. S. 269; daselbst Bd. III. S. 122.
- Über die Anlagen zur Massenförderung aus dem Gotthard-Tunnel. Stummer's Ingenieur 1875, Okt., S. 173.
- Der Bau des Gotthard-Tunnels. Eisenbahn 1875, Bd. II. S. 5 u. a. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1875, Heft IV bis VII.
- Rocour. Der Bau des Gotthard-Tunnels. Eisenbahn 1876, März, S. 163.
- Kostenvoranschlag desselben. Deutsche Bauz. 1876, No. 22.
- Vertrag über Ausführung desselben. Eisenbahn 1876, Febr., S. 92.
- Bergemann. Vorschlag betr. die Ausführung desselben. Deutsche Bauz. 1877, S. 73.
- Bau des Gotthard-Tunnels. Scientific american, Suppl. 1877, März.
- Die Anlagen an den Mundöffnungen desselben. Engineering 1877, Jan., S. 22.
- Kauffmann, J. Der Fortschritt der Arbeiten im Gotthard-Tunnel. Deutsche Bauz. 1877, S. 233.
- Über den Gotthard-Tunnel (Notizen aus dem Geschäftsbericht für 1878). Deutsche Bauz. 1879, S. 497.
- Dolezalek. Der Durchschlag und die Richtungsbestimmung des Gotthard-Tunnels (Vortrag). Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1880, S. 317.
- Der Durchschlag im Richtstollen des Gotthard-Tunnels. Wochenbl. f. Arch. u. Ing. 1880, S. 87. — Deutsche Bauz. 1880, S. 96; vergl. daselbst S. 240.
- Über die blähende Strecke im Gotthard-Tunnel. Eisenbahn 1880, Bd. XIII, S. 11 u. a.
- Einiges über den Gotthard-Tunnel. Wochenschr. d. Ver. deutscher Ing. 1881, S. 430.
- Loustau. Bemerkungen über die geologischen Verhältnisse am Gotthard. Mém. de la soc. des ing. civ. 1881, Febr., S. 188.
- Vom Gotthard-Tunnel. Eisenbahn 1882, Jan. u. Febr., S. 10 u. a.
- Die Eröffnung des Gotthard-Tunnels. Deutsche Bauz. 1882, S. 20.
- Pieler. Lüftung des Gotthard-Tunnels. Wochenschr. d. Ver. deutscher Ing. 1882, S. 54.
- Bechtle, R. Ausbesserungsarbeiten im Gotthard-Tunnel von 1882—1885. Schweiz. Bauz. 1886, II. S. 96.
- Bechtle, R. Bau des zweiten Gleises auf der Gotthard-Bahn, insbesondere die Erweiterung der Tunnelquerschnitte. Schweiz. Bauz. 1889, II. S. 55.
- Bechtle, R. Brennerscheinungen infolge vorhandener Spannungen im Gestein der Kehrtunnel auf der Nordrampe der Gotthard-Bahn. Schweiz. Bauz. 1890, II. S. 47.
- Erweiterung der Tunnel der Gotthard-Bahn für den Bau eines zweiten Gleises. Centralbl. d. Bauverw. 1893, S. 496. — Railroad gazette 1893, S. 833. — Revue générale des chemins de fer 1894, S. 140. — Engng. news 1894, I. S. 170.
- Sarre. Lüftungsanlage des St. Gotthard-Tunnels. Ann. f. Gew. u. Bauw. 1899, II. S. 205. — Centralbl. d. Bauverw. 1899, S. 310. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1898, S. 1221. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1899, S. 1478. — Revue générale des chemins de fer 1899, S. 321.
- Altes und Neues vom St. Gotthard. Südd. Bauz. 1900, S. 90, 95, 103, 115 u. 120.

## 7. Arlberg-Tunnel.

### a) Selbständige Schriften.

- Technischer Bericht über die Arlberg-Bahn (Bludenz-Landeck) samt Beilagen und zugehörigen Aktenstücken. Wien 1872.
- v. Nördling, W. Die Alternativ-Tracén der Arlberg-Bahn. Wien 1879.
- v. Stockert, T. Die Alternativ-Tracén der Arlberg-Bahn. Wien 1880.
- Prenniger, C. Der Bau der Arlberg-Bahn.
- Koch, G. Die Tunnelfrage der Arlberg-Bahn. Wien 1880.
- v. Nördling. Die Arlberg-Bahn und die Stellung der Techniker u. s. w. Wien 1880.

- Denkschrift der k. k. Direktion für Staatseisenbahnbauten über den Fortschritt der Arlberg-Bahn. Wien 1881 und 1882.
- Plate. Über die Ausführung des Arlberg-Tunnels (vier Vorträge). Wien 1884.

### b) In Zeitschriften.

- Verhandlungen über die Frage der Durchtunnelung des Arlbergs. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1880, S. 40. — Die Bauvergebung und die Vorarbeiten beim Arlberg-Tunnel. Deutsche Bauz. 1881, S. 69 u. 78.
- Die Installations-Anlagen am Arlberg-Tunnel. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1881, S. 25. — Wochenschr. desselben 1881, S. 8 u. a. — Eisenbahn 1881, Bd. XIV, S. 53 u. a. — Wochenschr. d. Ver. deutscher Ing. 1881, S. 59.
- Über den Stand der Arbeiten beim Arlberg-Tunnel. Eisenbahn 1881, Bd. XV, S. 11 u. a.
- Fortschritte im Sohlenstollen des Arlberg-Tunnels. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1881, S. 182 u. a.
- Kowatsch. Der Bau der Arlberg-Bahn und des Arlberg-Tunnels. Centralbl. d. Bauverw. 1882, S. 429 u. a.
- Baufortschritte im Arlberg-Tunnel zu Ende Dezember 1882. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1883, S. 96. — Österr. Zeitschr. f. Berg.- u. Hüttenw. 1883, S. 223. — Deutsche Bauz. 1883, S. 229.
- Der Durchschlag des Arlberg-Tunnels und die Stangenförderung in demselben. Deutsche Bauz. 1883, S. 552. — Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 406. — Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1883, S. 199. — Nouv. ann. de la constr. 1883, S. 183.
- Kowatsch. Übersichtliche Mitteilung über den Arlberg-Tunnel. Ann. f. Gew. u. Bauw. 1884, Aug., S. 57, 63, 77 u. 99.
- Der Tunnelbau der Arlberg-Bahn. Deutsche Bauz. 1884, S. 258.
- Einmauerung des letzten Schlusssteins. Schweiz. Bauz. 1884, I. S. 120.
- Hirzel-Gysi. Über den Bau des Arlberg-Tunnels. Schweiz. Bauz. 1887, I. S. 139 u. 145.
- Neuer Tunnel der Arlberg-Bahn zwischen Langen und Klösterle. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1893, S. 885. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1893, S. 615.
- Telephonanlage im Arlberg-Tunnel. Uhland's Wochenschr. 1894, S. 247. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1894, S. 483.
- Rauchverhältnisse im Arlberg-Tunnel. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1896, S. 859.

## S. Simplon-Tunnel.

- Dolezalek. Über die Entwürfe der Simplon- und der Montblanc-Bahn. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1884, S. 228.
- Donath. Über die geplante Durchbohrung des Simplon und die aufgestellten Gegenentwürfe. Deutsche Bauz. 1886, S. 558.
- Der geplante Simplon-Tunnel. Engineering 1887, Aug. S. 158.
- Donath. Die gegenwärtige Lage des Simplon-Bahn-Entwurfes. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1889, S. 145.
- Neue Entwürfe zum Simplon-Tunnel. Railroad gazette 1892, S. 249 u. 867; 1893, S. 115. — Schweiz. Bauz. 1893, II. S. 99. — Deutsche Bauz. 1893, S. 575. — Der Techniker 1893, Nov. S. 10.
- Der Tunnel durch den Simplon. Schweiz. Bauz. 1894, I. S. 120; 1894, II. S. 123, 128, 137, 144 u. 173; 1895, I. S. 21. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1894, S. 873 u. 921. — Ann. f. Gew. u. Bauw. 1894, Bd. 35, S. 136. — Uhland's Wochenschr. 1894, S. 28. — Génie civil 1894, Bd. 25, S. 383. — Railroad gazette 1894, S. 880. — Centralbl. d. Bauverw. 1895, S. 19. — Organ für die Fortschr. d. Eisenbahnw. 1895, S. 39 u. 53. — Engineering 1895, II. S. 338, 692 u. 756. — Engineer 1895, I. S. 1, 25, 45, 69.
- Wagner, G. J. Der Simplon-Tunnel. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1895, S. 125 u. 142.
- Staatsverträge und Arbeitsübertragungen am Simplon-Tunnel. Schweiz. Bauz. 1895, I. S. 14 u. 62; 1895, II. S. 148; 1897, Bd. 29, S. 6. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1895, S. 605, 674 u. 867; 1897, S. 809, 821, 851. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1895, S. 1535.
- Schmidt, Dr. C. Geologie der Simplon-Gruppe und die verschiedenen Tunnelpläne. Schweiz. Bauz. 1896, I. S. 111.
- Anwendung der Elektrizität beim Bau des Simplon-Tunnels. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1897, S. 911. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1897, S. 595. — Elektrotechn. Anzeiger 1897, S. 1994.
- Michel. Der Simplon-Tunnel. Engng. news 1897, S. 325.

- Staatsverträge und Geldbewilligungen für den Simplon-Tunnel. Schweiz. Bauz. 1897, I. S. 6. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1897, S. 809, 821 u. 851.
- Beginn der Arbeiten am Simplon-Tunnel. Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1898, S. 992, 1071, 1221 u. 1382. — Revue générale des chemins de fer 1898, S. 390. — Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1898, S. 568. — Schweiz. Bauz. 1899, I. S. 164.
- Dolezalek. Der Bau des Simplon-Tunnels. Zeitschr. f. Arch. u. Ing.-Wesen, Wochenausgabe 1899, S. 113. — Deutsche Bauz. 1899, S. 510, 529 u. 545. — Auszug im Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1900, S. 59 u. 70.
- Die Arbeiten am Simplon. Schweiz. Bauz. 1899, II. S. 134 u. 146. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1899, S. 57, 692, 1276 u. 1558. — Berg- u. hüttenmänn. Ztg. 1899, S. 595. — Revue générale des chemins de fer 1899, II. S. 212. — Österr. Zeitschr. f. Berg- u. Hüttenw. 1899, S. 404. — Uhland's Wochenschr. 1899, S. 170.
- Claus. Die Durchbohrung des Simplon. Glaser's Ann. f. Gew. u. Bauw. 1899, I. S. 206.
- Goering, A. Vom Bau des Simplon-Tunnels. Centralbl. d. Bauverw. 1900, S. 63 u. 76. — Deutsche Bauz. 1900, S. 94 u. 96.
- Monatsausweise und Vierteljahrsberichte über die Arbeiten am Simplon-Tunnel. Schweiz. Bauz. 1899, I. S. 21, 55, 91 u. 124; 1899, II. S. 11, 58, 65, 95, 103 u. 175; 1900, I. S. 22, 63, 67, 107, 152, 206, 210 u. 256; 1900, II. S. 59 u. 99, 147, 189, 197; 1901, I. S. 21, 61, 107, 195, 196, 207, 253; 1901, II. S. 8, 67, 53. — Zeitung d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1899, S. 480, 1093 u. 1171; 1900, S. 117, 566, 650, 713, 964, 1066, 1272, 1492; 1901, S. 74, 459, 576, 1434. — Revue générale des chemins de fer 1900, I. S. 483.
- Wagner, G. J. Bau des Simplon-Tunnels. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1900, S. 341, 566, 576; 1901, S. 566 u. 576. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1901, S. 1619. — Revue techn. 1901, S. 418.
- Bauweise und Maschinen beim Simplon-Tunnel. Engng. news 1900, II. S. 151. — Engng. record 1900, Bd. 42, S. 1.
- Dumas. Simplon-Tunnel. Génie civil 1900, Bd. 37, S. 461.
- Rosen, Max. Über die Absteckung des Simplon-Tunnels. Schweiz. Bauz. 1901, Bd. 37, S. 221 u. 243.
- Hervorbrechen einer starken Quelle im Simplon-Tunnel. Bauing.-Ztg. 1901, S. 464.
- Pestalozzi. Die Bauarbeiten am Simplon-Tunnel. Schweiz. Bauz. 1901, II. S. 191, 205, 215, 241 u. ff.

## 9. Verschiedene Tunnel.

(Tunnel-Bauweisen s. S. 224; Verwendung besonderer Hilfsmittel und Unter-Wasser-Tunnel s. S. 272; Tunnelbrüche und Wiederherstellungsarbeiten s. S. 328).

### a) Selbständige Schriften.

- Fontenay, T. Notice sur la construction du tunnel de St. Cloud etc.
- Protche, L. Rapports sur les conditions des souterrains à Starza et à Cristina. Florenz.
- Pressel und Kauffmann. Bau des Hauenstein-Tunnels. Basel und Biel 1860.
- Keller, F. Sammlung ausgeführter Tunnel- und Brückenportale. Karlsruhe 1861/62.
- Zwick, H. Neuere Tunnelbauten. Leipzig 1873.
- Lanino, G. Galeria della Traversata dell' Appennino nella linea Foggia-Napoli. Roma 1875.
- Rziha, Fr. Eisenbahn-Unter- und Oberbau. Wien 1878.
- v. Gunesch, R. Der Lupkower Tunnel der ersten ungarisch-galizischen Eisenbahn. Wien 1878.
- v. Grimburg. Bau des Sonnstein-Tunnels mit Bohrmaschinen. Wien 1878.
- Dolezalek. Der Tunnelbau. Hannover 1889—95, Bd. I, Lieferung 1, 2, 3.

### b) In Zeitschriften.

#### 1. Allgemeine Bauzeitung.

- Gallerien auf den Strafsen über das Stilsfer Joch und den Splügen. 1836, S. 204 und 1843, S. 317 u. 374.
- Francesconi. Tunnel bei Roosebeck auf der Eisenbahn von Mecheln nach Tirlemont. 1839, S. 18.
- Francesconi. Tunnel auf der Strafe von Pontebba. 1843, S. 142.
- Becker. Tunnel von Blechingley und Saltwood. 1848, S. 75.
- Tunnel bei Triebitz auf der k. k. Staats-Eisenbahn von Olmütz nach Prag. 1848, S. 426.
- Tunnel bei Chotzen auf der k. k. Staats-Eisenbahn von Olmütz nach Prag. 1854, S. 428.
- Tunnel von St. Cloud nach Montreuil auf der Eisenbahn von Paris nach Versailles. 1856, S. 318.

- Baumeister. Die unterirdische Eisenbahn in London. 1862, S. 201.  
 v. Nördling. Lioran-Tunnel auf der Strecke Murat-Vic sur Cère. 1872, S. 84.  
 Hoffmann, F. Baugeschichte des Lupkower Tunnels. 1878, S. 73.  
 Lang. Über den gegenwärtigen Stand des Tunnelbaues. 1881, S. 41 u. 54.  
 Trzeschlik, L. Tunnels unter Meeresarmen und Brücken über dieselben. 1887, S. 20, 30 u. 36.  
 Muck, K. Die Rekonstruktionsarbeiten im großen Arlberg-Tunnel. 1893, S. 80.  
 Petrlik, Chr. Das Gefrierverfahren im Venus-Tiefbau bei Brux in Böhmen. 1897, S. 7.  
 Watson, W. Die Konstruktion des Tunnels für die elektrische Straßensbahn in Boston. 1897, S. 109.

## 2. Annalen für Gewerbe und Bauwesen.

- Der Col di Tenda-Tunnel. 1898, I. S. 198.  
 Die Tunnelbauten des Entwurfes für die Engadin-Orient-Bahn. 1899, II. S. 144.  
 Tunnel zwischen England und Irland. 1899, II. S. 139.

## 3. Berg- und Hüttenmännische Zeitung.

- Barth. Der Tunnel von Vosburg. 1895, S. 269.  
 Lüftung der Tunnel und die Anordnung von Saccardo. 1900, S. 428.

## 4. Centralblatt der Bauverwaltung.

- Der Tunnel zu Laveno in der Eisenbahnlinie Novara-Pino. 1882, S. 234.  
 Tunnel italienischer Eisenbahnen. 1886, S. 159.  
 Volkmann. Die Durchtunnelung des Ssuram-Passes der transkaukasischen Eisenbahn. 1889, S. 65.  
 Umbau des Olympio-Tunnels bei Como. 1890, S. 462.  
 Keller. Bahntunnel unter dem Wildwasser Timeto. 1892, S. 239.  
 Steuernagel. Ausführung eines Sammelkanals in der Johannisstraße in Köln. 1893, S. 365.  
 Tinley-Tunnel in England. 1893, S. 464.  
 Fahrbarmachung zerstörter Tunnel im Feldzug 1870/71. 1896, S. 81.  
 Tunnel unter dem Quirinal in Rom. 1899, S. 79.  
 Tunnel der Strecke Courcelles-Trocadero in Paris. 1899, S. 587.  
 Fußgängertunnel in der City von London. 1900, S. 131.  
 Kanaltunnel von Chérumont und La Forêt. 1900, S. 523.  
 Frahm. Dichtungsarbeiten im Coudray-Tunnel auf der französischen Nordbahn. 1900, S. 462.

## 5. Civil-Ingenieur.

- Rosterscheinungen an dem Oberbaumaterial des Altenburger Tunnels. 1891, S. 35.  
 v. Oer. Nachträgliche Trockenlegung von Tunnelgewölben. 1891, S. 169.  
 v. Oer. Bahnsteigtunnel in Gera-Pforten. 1894, S. 198.  
 v. Oer. Beschreibung eines Tunnelmodells. 1894, S. 199.  
 Hartmann. Kanaltunnel unter dem Bahnhof Altenburg. 1894, S. 295.

## 6. Deutsche Bauzeitung.

- Tunnelbauten in Italien. 1869, S. 284.  
 Notizen über den Sterbfritzer Tunnel. 1869, S. 511.  
 Tunnel der Pacific-Bahn. 1870, S. 284.  
 Vogesen-Tunnel der Straßburg-Pariser Eisenbahn und des Rhein-Marne-Kanals. 1871, S. 123.  
 Tunnel der badischen Schwarzwaldbahn. 1872, S. 43.  
 Tunnelbau-Methode in Holz und Eisen der Rheinischen Bahn beim Bau der Linie Call-Trier. 1874, S. 68.  
 Lengeling. Der große Tunnel bei Kochem. 1876, S. 331; 1877, S. 79, 169; 1878, S. 9.  
 Lengeling. Gotthard- und Kaiser Wilhelm-(Kochemer) Tunnel. 1878, S. 106.  
 Kauffmann, J. Kochemer und Gotthard-Tunnel. 1878, S. 54, 143.  
 Der Ratkonya-Tunnel auf der Linie Temesvar-Orsowa. (Mit Kostenangaben). 1878, S. 20.  
 Vom Bau der Gotthard-Bahn. 1875, S. 264, 276, 287; 1877, S. 73; 1880, S. 251, 343.  
 Hövel, Cl. Tunnelbauten nach belgischer Bauweise in Deutschland. 1880, S. 142.  
 Der Pfaffensprung-Kehrtunnel der Gotthard-Bahn. 1880, S. 220.  
 Eisenbahntunnel durch die Pyrenäen (Entwurf). 1881, S. 480.  
 Arbeitsgerüst für die Unterhaltungsarbeiten in den Eisenbahntunneln. 1888, S. 477.

- Der Ssuram-Tunnel der transkaukasischen Eisenbahn. 1891, S. 67.  
 Zweiter Tunnel der Eisenbahn von Lauffen nach Kirchheim a. N. 1896, S. 203.  
 Tunnelquerschnitte der Stadt- und Vorortbahnen in London, Liverpool und Glasgow. 1896, S. 378.  
 Dolezalek. Der Gravehals-Tunnel. 1900, S. 75 u. 86.  
 Rofshändler. Tunnelbauten auf den Großherzogl. Badischen Staatseisenbahnen. 1900, S. 306 u. 309.

## 7. Eisenbahn.

- Der Zimmereggen-Tunnel der Schweizerischen Entlebucher-Bahn. 1875, Bd. II, S. 145.  
 Tunnel unter der Stadt Zürich (Entwurf). 1875, Bd. II, S. 230.  
 Tunnel der Gotthard-Bahn. 1875, Bd. II, S. 6.  
 Der Bötzing-Tunnel der Schweizerischen Bötzing-Bahn. 1876, Bd. III, S. 99.  
 Der Tunnel della Cima der peruanischen Bahn von Lima nach Oraya. 1878, März, S. 101.  
 Lommel. Die Frage des Simplon-Tunnels. 1880, Bd. XIII, S. 131.  
 Der Leggistein-Kehrtunnel der Gotthard-Bahn. 1880, Bd. XIII, S. 154.  
 Durchschlag des Leggistein-Tunnels. 1881, Bd. XIV, S. 5.  
 Durchschlag des Wattlinger Kehr-Tunnels. 1881, Bd. XIV, S. 45.  
 Eisenbahntunnel durch die Pyrenäen (Entwurf). 1881, Bd. XV, S. 107.  
 Durchbohrung des Simplon (Entwurf). 1881, Bd. XV, S. 74, 86, 97 u. 128; 1882, Bd. XVII, S. 46, 56 u. 88.  
 Tunnel unter dem Kanal la Manche. 1882, Bd. XVI, S. 47 u. 95; (Einstellung der Arbeiten) 1882, Bd. XVII, S. 53.

## 8. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens.

- Londons erste unterirdische Eisenbahn. 1863.  
 Der Musconetcong-Tunnel. 1877, S. 85.  
 Tunnel von Midrévaux. (Mit Kostenangaben.) 1887, S. 164.  
 Bau des Milseburg-Tunnels der Nebenbahn Fulda-Tann. 1893, S. 228.  
 Kreuter. Entwurf für den Bau der Tunnelstrecke der Jungfraubahn. 1897, S. 181, 193 u. 213.  
 Der Blackwall-Tunnel unter der Themse. 1894, S. 231; 1896, S. 84.  
 Tunnelvortrieb der Central-London-Bahn. 1899, S. 61.  
 Der Gravehals-Tunnel. 1900, S. 305.  
 Ausbesserung des Tunnels von Coudray. 1901, Heft 4, S. 83.

## 9. Romberg's Zeitschrift für praktische Baukunst.

- Der Spitzberg-Tunnel der Pilsen-Eisensteiner Bahn. 1875, S. 80.  
 Der Tunnel unter dem Canal la Manche. 1877, S. 16.  
 Der Tunnelleinsturz bei Schwelm. 1878, S. 314.  
 Der Tunnel unter dem Mersey. 1883, S. 335.  
 Die Eröffnung des Gotthard-Tunnels. 1883, S. 327.  
 Ein alter Tunnel. 1884, S. 799.  
 Der längste Tunnel. 1886, S. 160.

## 10. Schweizer Bauzeitung.

- Richtstollendurchschlag des Brandleite-Tunnels. 1883, I. S. 46.  
 Durchschlag des Lopperberg-Tunnels auf der Strecke Alpnachstad-Luzern (Brünig-Bahn). 1889, Bd. 13, S. 40.  
 Bachem. Zum Durchschlag des Züricher Tunnels. 1892, I. S. 8.  
 Tunnel der Wengernalp-Bahn. 1893, Bd. 22, S. 57 u. 59.  
 Durchschlag des Albis-Tunnels. 1894, Bd. 23, S. 134.  
 Hennings. Emmersberg-Tunnel bei Schaffhausen. 1894, S. 67.  
 Hennings. Bau und Kosten des Jungfraubahn-Tunnels. 1897, Bd. 29, S. 107.  
 Der Gravehals-Tunnel in Norwegen. 1897, Bd. 29, S. 177.  
 Tunnel durch den Col di Tenda. 1898, Bd. 31, S. 64.  
 Tunnelanlagen der Linie Thalweil-Zug. 1898, Bd. 32, S. 22.  
 Tunnel durch den Gletscher Tête Rousse am Montblanc. 1898, Bd. 32, S. 40.  
 Der Albula-Tunnel. 1898, Bd. 32, S. 154; 1900, Bd. 35, S. 164.  
 Crugnola. Bauausführung des Tunnels Turchino auf der Bahnlinie Genua-Ovada-Asti. 1899, Bd. 33, S. 2, 11 u. 24.  
 Einführung des elektrischen Betriebes im Giovi-Tunnel. 1899, Bd. 33, S. 72.

- Der Bau eines Tunnels durch den Quirinal-Hügel in Rom. 1900, Bd. 35, S. 80.  
 Tunnelbauten der Westbahn in Paris und Umgebung. 1900, Bd. 35, S. 137.  
 Fortschritte der Arbeiten im Albula-Tunnel. 1900, Bd. 36, S. 99, 157 u. 199; 1901, Bd. 37, S. 21, 63, 119, 153, 176, 212 u. 264.  
 Prefsburger Eisenbahntunnel. 1901, Bd. 37, S. 109.  
 Entwurf für eine Tunnelbahn (Tiefbahn) vom Hauptbahnhof in Zürich bis Wollishofen. 1901, Bd. 37, S. 138 u. 151.  
 Imhof. Tunnelbauten der Nordböhmischen Bahn Teplitz-Reichenberg (Kostenangaben). 1901, Bd. 37, S. 255, 272 u. 279.  
 Tunnel unter dem Meeresarm von Solent. 1901, Bd. 37, S. 253.

## 11. Süddeutsche Bauzeitung.

- Der Ssuram-Tunnel der Kaukasischen Bahn. 1896, S. 319, 327 u. 340.

## 12. Umland's Wochenschrift für Industrie und Technik.

- Ein Tunnelentwurf für die nordamerikanische Central-Pacific-Bahn. 1890, S. 288.  
 Tunnelbauten für eine elektrische Eisenbahn unter der Stadt New-York. 1891, S. 251.  
 Rohrtunnel durch den Kanal la Manche. 1894, S. 203.  
 Strecke Alpirsbach-Schiltach der Kinzigbahn. 1894, S. 27.  
 Der Ssuram-Tunnel (Kaukasus). 1892, S. 83; 1896, S. 237.  
 Tunnel zwischen New-York und Brooklyn. 1896, S. 251.  
 Der Spree-Tunnel zwischen Stralau und Treptow. 1896, S. 298; 1899, S. 143.  
 Tunnel zwischen Irland und Großbritannien. 1899, S. 207.

## 13. Wochenschrift und Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins.

- Buresch. Über den Bau der Tunnel an der Saarbrücker Eisenbahn. Zeitschr. 1853, S. 240.  
 Rziha. Notiz über die Bauzeit verschiedener Tunnel. Zeitschr. 1868, S. 197.  
 Vivenot. Bau des Tunnels von Habas. Zeitschr. 1869, S. 225.  
 Scheidtenberger. Der Bau des Homberg-Tunnels in der Eisenbahnstrecke Klagenfurt-Marburg. Zeitschr. 1873, S. 209.  
 Der Spitzberg-Tunnel der Pilsen-Eisensteiner Bahn. Zeitschr. 1865, S. 345.  
 Wostry. Der Petrowitzer Tunnel der österr. Staatsbahnlinie Chotzen-Halbstadt-Braunau. Zeitschr. 1876, S. 129.  
 Schlarbaum. Tunnel der Langelsheim-Clausthaler Eisenbahn. (Mit Kostenangaben.) Zeitschr. 1877, S. 61.  
 Rziha. Tunnel der Elm-Gemündener und der Bebra-Friedländer Eisenbahn. Wochenschr. 1877, S. 195.  
 v. Grimburg, R. Bau des Sonnstein-Tunnels mit Rücksicht auf die Verwendung von Gesteinsbohrmaschinen, System Brandt. Zeitschr. 1878, S. 1.  
 Doppler. Der Bau des Sill-Tunnels an der Brennerbahn. Zeitschr. 1878, S. 35.  
 Der Sutro-Tunnel. Zeitschr. 1879, S. 73.  
 Wagner. Der Tunnel bei Bischofshofen auf der Salzburg-Tiroler Bahn. Zeitschr. 1879, S. 169.  
 Die Tunnel der Pontebba-Bahn. Zeitschr. 1880, S. 113.  
 Die Durchbohrung des Col di Tenda der See-Alpen (Straßentunnel). Wochenschr. 1881, S. 279.  
 Entwurf des Simplon-Tunnels. Wochenschr. 1882, S. 246.  
 Die Tunnel der bosnisch-herzegowinischen Staatsbahnen. 1892, S. 333 u. 349.  
 Kinzer. Ausführung eines Tunnels für den Nafsbach mittels der elektrischen Schlagbohrmaschine von Siemens und Halske. 1897, S. 517.  
 Der Gravehals-Tunnel der Gebirgsbahn Vofs-Tangewana in Norwegen. (Österr. Eisenbahn-Zeitung) 1897, S. 263.  
 v. Emperger. Erfolge und Erfahrungen mit der Bostoner Untergrundbahn. 1900, S. 617.

## 14. Wochenschrift für Architektur und Ingenieurwesen.

- Glunder. Die Wiederherstellungsarbeiten an einem Tunnel. 1897, S. 153.  
 Der Tunnel von Batignolles der Pariser Stadtbahn. 1899, S. 757.

## 15. Zeitschrift des Architekten- und Ingenieur-Vereins zu Hannover.

- Osthoff. Der Tunnel zu Rochsburg (Muldenhalbahn). 1876, S. 547.  
 v. Oer. Der Tunnel bei Altenburg. 1880, S. 385.  
 Dolezalek. Mitteilungen über den Bau des Krähberg-Tunnels. 1881, S. 145; 1882, S. 141.

Dolezalek. Über den tunnelartigen Kanalbau in Hannover. 1893, S. 271.  
 Völker. Die Tunnelbauten der Strecke der Kinzigbahn zwischen Alpirsbach und Schiltach. 1893, S. 450.

#### 16. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen im preussischen Staate.

Bildstock-Tunnel der Saarbrücker Eisenbahn. 1857.

#### 17. Zeitschrift für Baukunde.

Hennch. Bau-Ausführung der sieben Tunnel im Pegnitzthal auf der kgl. bayr. Staats-Eisenbahn. 1879.  
 Förderreuther. Der Tunnel zu Langentheilen der bayr. Staatsbahn Kirchenlaibach-Redwitz. 1880, S. 11.  
 Der Schloßberg-Tunnel bei Hirschhorn am Neckar. (Mit Kostenangaben.) 1881, S. 28.  
 Tunnel der Karlsstadt-Fümaner Bahn. (Mit Kostenangaben.) 1881, S. 226.  
 Mitteilungen über den Krähberg-Tunnel der hessischen Odenwaldbahn. 1882, S. 99.

#### 18. Zeitschrift für Bauwesen.

Henz. Bau-Ausführung auf der Semmeringbahn. 1851, S. 365.  
 Hartwich. Tunnel zwischen Manchester und Sheffield. 1853, S. 265.  
 Derselbe. Tunnel in Paris für die unterirdische Eisenbahn der Central-Markthallen. 1856, S. 118.  
 Derselbe. Tunnel von Blaisy der Paris-Lyoner Bahn. 1856, S. 139.  
 Derselbe. Tunnel de la Nerthe der Lyon-Marseiller Bahn. 1856, S. 143.  
 Andriessen, H. Bemerkungen über einige Tunnelbauten, namentlich über den Tunnel bei Czernitz. 1856, S. 175.  
 Wiebe. Bemerkungen über einige Tunnelbauten, namentlich über den Tunnelbau bei Czernitz. 1856, S. 230.  
 Weishaupt, Th. Der Hauenstein-Tunnel. 1858, S. 206.  
 Derselbe. Tunnel unter der Stadt Aarau für die Olten-Züricher Bahn. 1858, S. 209.  
 Wex und Lehwald. Der Bau des Tunnels bei Wiebelskirchen auf der Rhein-Nehe-Bahn. 1861, S. 415; 1862, S. 530.  
 Die Eisenbahn-Tunnel Frankreichs. 1862, S. 251.  
 Weishaupt. Tunnel bei Kreiensen. Die dabei angewandte Methode von Rziha betr. 1863, S. 666.  
 Simon. Die Ausführung des großen Tunnels bei Altenbeken. 1868, S. 251.  
 Der Tunnel bei Aachen. 1873, S. 512.  
 Stane, A. und Pascher, C. Der Spitzberg-Tunnel der Pilsen-Eisensteiner Bahn. 1878, S. 179.  
 Ausführung des Ochsenkopf-Tunnels auf der Linie Dittersbach-Glatz. 1880, S. 87.  
 Lehwald. Die Tunnelbauten der Strecke Nordhausen-Wetzlar. 1883, S. 15.  
 Oberschulte. Bau des Milseburg-Tunnels. 1892, S. 47.  
 Tunnelanlagen der Orleansbahn in und bei Paris. 1899, S. 582.  
 Der Tunnel an der Papestrasse und der Tunnel unter den Gleisen des Bahnhofes Lichterfelde der Vorortbahn von Berlin nach Groß-Lichterfelde. 1900, S. 512.

#### 19. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure.

Der Altenbekener Tunnel. 1869, S. 783.  
 Rziha, Fr. Neue Entwässerung von Tunnelmauerwerk. 1870, S. 399.  
 Entwurf eines Untertunnels. 1870, S. 582.  
 Papyrus. Tunnel unter der Themse. 1870, S. 407.  
 Der Mont Cenis-Tunnel. 1871, S. 274; 1872, S. 708.  
 Ein zweiter Tunnel unter dem Michigan-See. 1873, S. 548.  
 Zwick, H. Neuere Tunnelbauten. 1873, S. 494.  
 Wiederherstellung des Tunnels von Vierzy. 1873, S. 301.  
 Hagen. Die Arbeiten am Gotthard-Tunnel. 1875, S. 374.  
 v. Hesse, E. A. Der unterseeische Tunnel zwischen England und Frankreich. 1876, S. 546.  
 Lorenz, A. First- oder Sohlenstollen? 1876, S. 422.  
 Der Eisenbahnbetrieb durch lange Tunnel. (Wochenschr.) 1877, S. 184.  
 Könyves-Tóth. Über Tunnelbau. (Wochenschr.) 1877, S. 166.  
 Vorarbeiten zum Kanal-Tunnel. (Wochenschr.) 1878, S. 55; 1879, S. 324.  
 Birnbaum, H. Das Tunnel-Längstrügersystem Menne. 1879, S. 383.  
 Rebentisch. Der Bau der Gotthard-Bahn. (Wochenschr.) 1880, S. 104.  
 Long. Neuere Tunnelbauten. (Wochenschr.) 1882, S. 235.

- v. Hänel. Der Arlberg-Tunnel. 1884, S. 479.  
 Die Ausführung des Severn-Tunnels. 1885, S. 271.  
 Englische Tunnelbauten bei Untergrundbahnen. 1885, S. 235.  
 Eisenbahn unter dem Hudson zwischen New-York und Jersey-City. 1886, S. 185.  
 Untertunnelung der Meereenge von Messina. 1886, S. 615.  
 Die unterirdische Röhrenbahn zwischen England und Frankreich. 1894, S. 562.  
 Entwurf für den Bau der Tunnelstrecke der Jungfrau-Bahn. 1897, S. 1469.  
 Rundschau über Unterwassertunnel. 1899, S. 1476.  
 Tunnel für Fußgänger in London. 1900, S. 617.  
 Tunnel für Fußgänger in Boston. 1900, S. 748.  
 Der geplante Tunnel zwischen Schottland und Irland. 1901, S. 1433 (auch Bauing.-Ztg. 1901, S. 472).

#### 20. Zeitung des Vereins deutscher Eisenbahn-Verwaltungen.

- Tunnel durch den Col di Tenda. 1898, S. 226 u. 266.  
 Tunnelentwurf in den Ostkarpathen von Kimpolung nach Darnawatra. 1898, S. 961.  
 Einführung des elektrischen Betriebes im Giovi-Tunnel. 1899, S. 73.  
 Tunnel der Jungfraubahn. 1899, S. 29, 44 u. 73.  
 Unglücksfall beim Bau des Albula-Tunnels. 1900, S. 231.  
 Neubau des Prefsburger Tunnels. 1900, S. 246.  
 Untergrundstrecke der Berliner elektrischen Stadtbahn am Potsdamer Platz. 1900, S. 861.  
 Prefsburger Eisenbahntunnel. 1900, S. 926.  
 Fortschritte der Arbeiten im Albula-Tunnel. 1900, S. 980.  
 Rascher Fortschritt der Arbeiten am Tunnel der Jungfraubahn. 1900, S. 980.  
 Vierter Tunnel unter der Themse. 1900, S. 912.  
 Künstliche Lüftung des Ronco-Tunnels bei Genua. 1900, S. 998.  
 Lüftung der Tunnel. 1900, S. 971, 992, 1006, 1031.  
 Wildstrubel-Tunnel oder Lötschberg-Tunnel? 1900, S. 1214.  
 Albula-Tunnel. 1900, S. 1229; 1901, S. 90 u. 511.  
 Prefsburger Eisenbahntunnel. 1901, S. 411.  
 Der Tunnel von Braine-le-Comte (Belgien). 1901, S. 458.

#### 21. Zeitschrift für Transportwesen und Strafsenbau.

- Entwurf eines Montblanc-Tunnel von Ing. Issartier. 1895, S. 134.  
 Der Gravelhals-Tunnel der Gebirgsbahn Vofs-Tangevand in Norwegen. 1897, S. 491.  
 Neue Londoner Untergrundbahn. 1900, S. 384.  
 Vierter Tunnel unter der Themse. 1900, S. 421.  
 Neue Unterpflasterbahn in New-York. 1900, S. 336.

#### 22. Englische Zeitschriften.

- Chicago-Tunnel zwischen der Süd- und Westhälfte der Stadt. Builder 1869, S. 115.  
 Der Liverpooler Tunnel. Engineering 1871, S. 91.  
 Tunnel bei Hartford in Amerika. Engineering 1871, S. 327.  
 Der Clifton-Tunnel. Engineering 1872, S. 368. — Engineer 1872, Juni, S. 398. — Builder 1872, Juni, S. 443.  
 Querschnitt und Böschung des Choug-Hall-Tunnels auf der Eisenbahn North-Staffordshire. Engineer 1874, II.  
 Projekt des Simplon-Tunnels. Journ. of the Frankl.-Inst. 1874, Aug., S. 83.  
 Galera- oder Summit-Tunnel in Peru. Engineer 1875, Februar.  
 Eisenbahntunnel zwischen dem Hudson River und New-Jersey. Scientific american 1875, Febr., S. 129.  
 Tunnel der Untergrundbahn zu Konstantinopel. Engineer 1875, März, S. 170; April, S. 292.  
 Der Hoosac-Tunnel. Engineering 1875, Jan., S. 40.  
 Tunnel der Untergrundbahn in New-York. Scientific american 1875, Jan., S. 4 u. a. — Engineering 1875, Febr., S. 149 u. a.  
 Tunnelbahn in London, Verlängerung der East London Railway. Engineering 1875, Dez., S. 467.  
 Tunnel durch den Musconetcong (New-Jersey). Engineer 1875, Jan. S. 29.  
 Drinker. Der Musconetcong-Tunnel. Engineering 1876, Sept., S. 194.  
 Tunnel der Southern-Pacific-Bahn. Engineering 1876, S. 328.

- Baldwin. Bau der Tunnel im London-Clay in der Umgebung Londons. Engng. news 1877, Okt., S. 281 u. a.  
 Der Bergen-Tunnel auf der Delaware-Lackawanna- und Western-Bahn. Engng. news 1877, Juni, S. 157. —  
 Railroad gazette 1877, Mai, S. 222.
- Der Sutro-Tunnel. Scientific american Suppl. 1877, S. 1538. — Engineering and mining Journal 1877, Juni,  
 S. 432. — Engineer 1878, Jan., S. 19.
- Die Chimbote-Tunnel. Trans. of the american soc. of civil engineers 1880, Okt., S. 365.
- Der Osakayama-Tunnel der japanischen Staatsbahn Kioso-Otzu. Transact. of the Inst. of civil engineers 1881.
- Der Weehawken-Tunnel zwischen Weehawken und New-Durham. Scientific american Suppl. 1882, Juli, S. 5435;  
 Dez., S. 407.
- Der Atlantic- and Pacific-Tunnel bei Clear Creak (Colorado). Scientific american Suppl. 1882, Nov., S. 5721.
- Tunnel der Metropolitan-Railway-Extension in London. Engineering 1884, Juni, S. 507.
- Entwurf zur Durchtunnelung der Rocky Mountains unter dem Gray's Peak. Engineering 1887, Juli, S. 15.
- Der Big-Bend-Tunnel des Oeather River. American Engineer 1887, Nov. S. 171.
- Der Vosburg-Tunnel auf der Pennsylvania- und New-York-Eisenbahn. Engineering 1888, I. S. 327 u. 331.
- Der Ssuram-Tunnel der Kaukasischen Bahn. Engineering 1889, I. S. 324.
- Die Tunnel der Baltimore-Ringbahn. Engng. news 1891, II. S. 557 u. 612.
- Der Stampede- oder Cascade-Tunnel der nördlichen Pacific-Bahn. Engng. news 1891, II. S. 301 u. 324;  
 1893, I. S. 456.
- Worthen. Herstellung von Tunnelanlagen für Stadtbahnen nahe unter der Strafsenoberfläche. Engng. news  
 1891, II. S. 353.
- Neuer Strafsenbahntunnel in Chicago. Engineer 1892, I. S. 256.
- Neue Tunnelanlagen zu St. Paul. Engng. news 1892, I. S. 598.
- Die Tunnelbauten der Erweiterung der Great Northern-Eisenbahn. Engineer 1892, II. S. 106.
- Der Khojak-Tunnel in Indien (3900 m lang und 1950 m über dem Meere gelegen). Engng. record 1892, S. 142.
- Der Philadelphia-Tunnel der Baltimore-Ohio-Eisenbahn. Transact. of the american soc. of civ. eng. 1892, S. 529.
- Tunnel der Central-Eisenbahn in Glasgow. Engineering 1892, I. S. 674.
- Tunnel- und Brückenbauten der Glasgow-Central-Eisenbahn. Engineering 1892, II. S. 7, 70, 104, 163 u. 218.
- Tunnelbauten der neuen Erweiterung der Great Northern Railway zwischen London und Barnet. Engineer 1892,  
 II. S. 107, 298 u. 328.
- Der Busk-Ivanhoe-Tunnel (Colorado). Railroad gazette 1892, S. 629; 1893, S. 729. — Engng. news 1892, I.  
 S. 249; 1893, I. S. 310; 1894, II. S. 245.
- Der neue Palisades-Tunnel bei New-York. Engng. news 1893, I. S. 295.
- Neuer Tunnel der London und North Western Railroad zwischen Marsden und Diggle. Engng. news 1893, I. S. 603.
- Tunnel der Everett- und Monte Cristo-Eisenbahn in Washington. Engng. news 1893, II. S. 267.
- Boulder-Tunnel zwischen Helena und Butte in der Montana-Central-Eisenbahn. Engng. news 1893, II. S. 289.
- Der Panir-Tunnel der Mushkahaf-Bolan-Eisenbahn (Indien). Engng. news 1893, II. S. 383.
- Der Brafford's Ridge-Tunnel. Engng. news 1894, I. S. 503.
- Neuer Standage-Eisenbahn-Tunnel. Engineer 1894, II. S. 128.
- Tunnel der Usui-Pafs-Bahn in Japan. Engineering 1894, II. S. 508.
- Tunnel verschiedener Städte. Engng. news 1894, II. S. 310. — Engng. record 1894, Bd. 30, S. 340, 358,  
 377 u. 392.
- Tequexqual-Tunnel in Mexico. Engng. news 1894, I. S. 500. — Engineering 1895, I. S. 270 u. 280. —  
 Engng. record 1894, Bd. 30, S. 41; 1896, I. S. 223.
- Tunnel der Clydebank-Dalmuir-Eisenbahn. Engineer 1895, II. S. 167.
- Tunnel der Glasgower Centralbahn. Engineer 1895, II. S. 403.
- Ein Tunnel aus Beton. Engng. record 1896, I. S. 237.
- Der Hamilton-Tunnel. Engng. record 1897, II. S. 268.
- Der Gravehals-Tunnel. Engineering 1897, S. 554.
- Stahlbogen-Tunnel auf der Golden Circle-Bahn. Engng. news 1898, II. S. 156.
- Die Tunnel der ersten und zweiten Bauabteilung der Mushkahaf-Bolan-Eisenbahn in Indien. The Railway-Eng.  
 1898, S. 82, 139 u. 340.
- Der Tunnel von Passy. Engineer 1889, I. S. 620.
- Der North-Bessemer-Tunnel bei Bessemer (Pa.) Engng. record 1899, Bd. 40, S. 562.
- Der Turchino-Tunnel. Engineer 1900, I. S. 195. — Engng. record 1900, Bd. 41, S. 524.
- Little-Tom-Tunnel in der Norfolk- und Western-Eisenbahn. Engng. news 1900, I. S. 257.
- Der East-Boston-Tunnel. Engng. record 1900, Bd. 41, S. 514.

- Straßentunnel mit Flutthor in Montreal. Engng. news 1900, I. S. 336.
- Tunnel unter der Meerenge von Shimonosecki in Japan. Engineer 1900, I. S. 626.
- Cascade-Tunnel der Great Northern Eisenbahn. Engng. news 1900, I. S. 23. — Engineer 1901, I. S. 221.
- Summit-Tunnel der Utah-Central-Bahn. Engng. news 1901, I. S. 84.
- Untertunnelung des East-River zu New-York. Engng. record 1901, Bd. 43, S. 128.
- Neuer Unterwasser-Tunnel im Northriver bei New-York. Engng. news 1901, I. S. 235.
- Schild des East-Boston-Tunnels. Engng. record 1901, Bd. 43, S. 273.
- Anwendung des Druckwasserschildes für den Kanalbau in Melbourne. Engng. news 1901, I. S. 106.
- Ersatz der Gußeisenwandungen durch Mauerwerk beim Vortreiben von Tunnelstrecken mit dem Schilde. Engng. news 1901, I. S. 250.
- Hough. Der Kellogg-Tunnel der Bunker Hill- u. Sullivan-Minen zu Idaho. Engng. news 1901, I. S. 310.
- Tunnel-Entwurf zur Verbindung von Schottland mit Irland. Engineering 1901, Sept., S. 335.
- Allen. Zusammenbruch des Tunnels der Pennsylvania-Eisenbahn in Baltimore. Engng. news 1901, II. S. 54.
- Quinton. Der Beton-Tunnel der 3. Straße in Los Angeles, Col. Engng. news 1901, II. S. 34.
- Beahan. Ausmauerung des Musconetcong-Tunnels ohne Betriebsstörung. Engng. news 1901, II. S. 353.
- Rogers. Anlage und Ausführung der Eisenbahn-Tunnel. Proc. of the Inst. of civ. engineering 1901, T. 4, S. 191.
23. Französische Zeitschriften.
- Eingleisiger Tunnel der Bahn von Kaschau nach Oderberg. Nouv. ann. de la constr. 1869, S. 102.
- Der Tunnel de la Rivière in der Linie von Montluçon nach Limoges. Ann. du génie civil 1870, S. 169.
- Die Tunnel auf der Linie Murat-Vic sur Cère. Nouv. ann. de la constr. 1871, S. 12.
- Tunnel der Linie Luxemburg-Spaä. (Mit Kostenangaben.) Nouv. ann. de la constr. 1875, S. 67.
- Tunnel von Midrévaux (Linie Gondrecourt-Neufchâteau.) Ann. des ponts et chaussées 1886, II. S. 87. (Mit Kostenangaben.) Nouv. ann. de la constr. 1886, S. 174.
- Tunnel von Philippeville. Revue générale des chemins de fer 1886, Bd. IX, S. 301.
- Eisenbahntunnel in sehr geringer Tiefe unter einer Straße in Glasgow. Génie civil 1888, Bd. 13, S. 54.
- Der Ssuram-Tunnel der transkaspischen Eisenbahn. Génie civil 1890, Bd. 18, S. 122.
- Tunnel des Kanals von der Oise nach der Aisne. Nouv. ann. de la constr. 1890, S. 125.
- Col de Cabres-Tunnel auf der Bahn von Crest nach Aspres-Les Vergnes. Nouv. ann. de la constr. 1891, S. 47.
- Col di Tenda-Tunnel. Ann. des ponts et chaussées 1898, III. S. 435.
- Tunnel der Jungfraubahn. Revue générale des chemins de fer 1899, I. S. 11. — Génie civil 1899, Bd. 34, S. 414.
- Tunnel von Turchino auf der Strecke Genua-Ovada-Asti. Génie civil 1899, Bd. 36, S. 119.
- Tunnel von Passy. Revue techn. 1899, S. 196.
- Ausführung eines Tunnels aus den Minen von Gardanne zum Meere bei Marseille. Revue industr. 1900, S. 122, 133 u. 148. — Génie civil 1900, Bd. 37, S. 57, 82 u. 100.
- Ronco-Tunnel. Génie civil 1900, Bd. 36, S. 249.
- Ausführung der Tunnelbauten auf der Strecke Alachéir-Fiume-Karahissar (Kleinasien). Nouv. ann. de la constr. 1900, S. 37.
- Ersatz der Holzverkleidung eines Tunnels durch ein Backsteingewölbe ohne Unterbrechung des Verkehrs. Génie civil 1900, Bd. 37, S. 136.
- Tunnel aus den Minen von Gardanne zum Meere. Revue techn. 1900, S. 414.
- Pariser Untergrundbahn „Metropolitain“. Revue générale des chemins de fer 1900, II. S. 421. — Génie civil 1900, Bd. 37, S. 197.
- Untergrundstrecken des Marne-Saône-Kanals. Revue techn. 1900, S. 344.
- Tunnel von Echarmeaux. Ann. des ponts et chaussées 1900, III. S. 151.
- Tunnelarbeiten mit dem Schilde. Revue techn. 1901, S. 197.
- Lüftung der Tunnel nach Farcot. Revue industr. Aug., 1901, S. 318.
- Abnutzung der Schienen in Tunneln. Revue générale des chemins de fer 1901, Mai, S. 501.
- Kritische Besprechung des Gebrauches der Schilde zur Tunnelbohrung. Revue techn. 1901, S. 222, 248 ff.

# Sachregister.

Die Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.

- Abbau einer Zonenlänge bei der englischen Bauweise.** 205.  
**Abbau in druckhaftem Gebirge.** 205.  
— in festerem Gebirge. 207.  
**Abbauen des Gesteins.** 9.  
**Abbauen vor Kopf.** 180.  
**Abbohrer.** 16.  
**Abdämmen der Bohrlöcher.** 44.  
**Abdeckung der Sohle.** 158.  
**Abmessungen und Gewichte von Tunnelverkleidungen.** 232.  
**Abmessungen verschiedener Tunnelschilde.** 230.  
**Abtreiben.** 285.  
**Absteckung der Tunnelaxe in Schächten.** 296.  
**Absteckung der Tunnellinie.** 291.  
**Absteckung des Gotthard-Tunnels.** 291.  
**Absteckung des Simplon-Tunnels.** 292.  
**Absteckung der Tunnelaxe über Tage.** 291.  
**Absteckungsarbeiten im Tunnel.** 294.  
**Absturzstelle.** 130.  
**Abthun versagter Schüsse.** 48, 49.  
**Abteufen der Schächte.** 101.  
**Acetylenbeleuchtung.** 355.  
**Amerikanische Bauweise.** 191.  
**Aneinandersetzen der Hölzer.** 154.  
**Anfall oder Einstrich.** 156.  
**Anfangsbohrer.** 16.  
**Angriffsarten.** 369, 373.  
**Anlegehölzer.** 159, 162.  
**Anordnung der Bohrlöcher.** 57, 104.  
— des Tunnelrichtstollens. 299.  
**Anschlag (eines Schachtes).** 142.  
**Anstecken der Pfähle.** 163.  
**Ansteckgevier (eines Schachtes).** 165.  
**Ansteckzimmer.** 159.  
**Anzapfen.** 349.  
**Arbeitsbetrieb bei Maschinenbohrung.** 101.  
**Arbeitskammer.** 229.  
**Arbeitsplan für einen Tunnelbau.** 381.  
**Arbeitsverluste der Bohrmaschinen.** 79.  
**Arbeitsvorgang.** 159.  
**Arlberg-Tunnel (Sohlenstollen).** 122.  
**Aspiration.** 334.  
**Atmungsapparate.** 338.  
**Aufbewahren der Patronen.** 28.  
— der Sprengmittel. 28, 33.  
**Aufbrechen der Schächte.** 101.  
**Aufbrüche.** 172, 208.  
**Aufbrüche vom Sohlenstollen aus.** 372.  
**Auffahren des Richtstollens.** 101.  
**Auffirsten.** 179, 285, 298.  
**Aufnahme, geologische, des Gebirges.** 359.  
**Auftauen von Patronen.** 27.  
**Aufschluss des Gebirges.** 299.  
**Aufstellung der Lehrbögen.** 280.  
**Ausbau des St. Clair-Tunnels.** 248.  
**Ausbau der Tunnel.** 8.  
**Ausbruchsmassen, Förderung der —.** 384.  
**Ausführung der Mauerung.** 281.  
**Ausführung der Mauerung bei der englischen Bauweise.** 204.  
**Ausführung des Tunnelbaues.** 171, 291.  
— — —, bergmännische. 171.  
— — — mit Fangdämmen. 269.  
— — — mittels Senkkasten mit geprefster Luft. 270.  
— — — mit Schild. 225.  
— — — mit Teilschilden. 265.  
— — — unter Wasser. 220, 226.  
**Aushöhlen.** 57.  
**Ausrüstung der Lehrbögen.** 281.  
**Aussaugen der Luft (Aspiration).** 334.  
**Austrocknen der Bohrlöcher.** 44.  
**Auswechselrahmen.** 201.  
**Axt.** 153.  
**Bahnen oder Schlagflächen.** 11.  
**Bake (Mefsstange).** 293.  
**Baker's Schild.** 252.  
**Bandseile für Schachtförderung.** 146.  
**Barlo w'scher Bauvorgang.** 226.  
**Barlo w'scher Themse-Tunnel.** 237.  
**Barren.** 161.  
**Baugriffspunkte, Bestimmung der —.** 369.  
**Baubetrieb mittels Aufbrüchen vom Sohlenstollen aus.** 372.  
**Baufortschritte.** 380.  
**Baukosten, Ermittlung der —.** 388. (S. auch Kosten).  
**Bau über Tage.** 127.  
**Bau von Aufbrüchen.** 208.  
**Beach'scher Schild.** 239.  
**Befestigungsarten der Bohrer.** 84.  
**Beförderung der Mauermaterialien.** 282.  
**Beförderung von Sprengmitteln.** 28.  
**Beleuchtung der Tunnel.** 8.  
**Beleuchtung in Arbeit befindlicher Tunnel.** 354.  
**Belgische Tunnelbauweise.** 171, 173, 178.  
**Belgische Bauweise mit amerikanischer Zimmerungsart.** 190.  
**Belgische Bauweise mit Sohlenstollenbetrieb.** 185.  
**Berge.** 9.  
**Berghammer.** 11.  
**Berghaspel oder Hornhaspel.** 142, 143.  
**Bergtrog.** 10, 12.

- Bergtrog oder Fülltrog. 127.  
 Besatz. 37.  
 Besatzpatrone. 46.  
 Beschleunigung des Tunnelbaues. 300, 369, 372.  
 Besetzen der Bohrlöcher. 44, 49.  
 Betrieb der Förderung in und aus dem Tunnel 137.  
 Betriebskraft für Gesteinsbohrmaschinen. 68.  
 Bickford'scher Zünder. 37.  
 Blackwall-Tunnel. 253.  
 Blatt. 10.  
 Bockgespärre (Zimmerung). 162, 193, 203.  
 Bocksäulen (Zimmerung). 155, 162, 193.  
 Bockwände (Schachtschlösser). 165, 306.  
 Bölung (Zimmerung). 152.  
 Bogenausweitung. 8.  
 Bogenfelgen. 201.  
 Bohlenbögen. 279.  
 Bohrdeckel. 18.  
 Bohrerbefestigungen. 84.  
 Bohrer der Stofsbohrmaschinen. 82.  
 Bohrgestelle. 91.  
 Bohrgezähe. 14.  
 Bohrlöchertiefe. 56, 110.  
 Bohrlöcher, Abdämmen der —. 44.  
 —, Austrocknen der —. 44.  
 —, Besetzen der —. 44, 49.  
 —, Laden der —. 46.  
 —, Richtung der —. 58.  
 —, Tiefe der —. 56.  
 —, Weite der —. 56.  
 —, Zubrüsten der —. 18.  
 Bohrmaschinen. 67.  
 —, Arbeitsverluste der —. 79.  
 —, Gewicht der —. 77.  
 —, Stofsbohrmaschinen. 67, 69.  
 —, Drehbohrmaschinen. 67, 86.  
 —, Druckluft-. 69, 72.  
 —, Druckwasser-. 89.  
 —, Elektrische —. 80.  
 —, Kraftbedarf der —. 76.  
 —, Leistung der —. 76, 79.  
 —, Vorschub der —. 70.  
 Bohrmehl. 17, 18.  
 Bohrschlamm oder Schmand. 18.  
 Bohrsäule mit 2 Spannschrauben. 92.  
 — mit einer Schraubenspindel. 92.  
 — mit Schneckenantrieb. 93.  
 —, Bauart Frölich. 93.  
 — mit Druckpumpe. 93.  
 Bohrungen mit Drehbohrmaschinen. 120.
- Bohrungen mit Stofsbohrmaschinen. 104.  
 Bolzenschrotzimmerung. 164.  
 Bornhardt'sche Zünder. 41.  
 Brandleite-Tunnel (Richtstollen). 121.  
 Brandt'sches Bohrgestell. 94.  
 Brandt'sche Druckwasser-Bohrmaschine. 68, 69, 89, 101.  
 Brech- und Schufgebirge. 9.  
 Brechstange. 11, 13.  
 Breithaue. 10.  
 Bremshassel. 143.  
 Bremstrum. 148, 373.  
 Broadway-Tunnel in New-York. 238.  
 Bruch der Mauerung (s. Tunnelbrüche). 305, 320.  
 Bruchdom. 304.  
 Bruchraum. 304.  
 Brunel'sche Bauweise. 203.  
 Brunel'scher Brustschild. 225.  
 Brunel's Themse-Tunnel. 235.  
 Brust- oder Ortstofs. 163.  
 Brustschild. 225.  
 Brustschwellen. 203.  
 Bruststempel. 204.  
 Brustverzug beim Blackwall-Tunnel. 256.  
 Büchse. 47.  
 Bühnen. 201.  
 Bühnenlöcher. 14.  
 Bühnenträger. 201.  
 Bühnenwagen. 128.  
 Bühnloch. 156.  
 Burekhardt und Weifs'sche Druckluftpumpe. 98, 99, 100.
- Centralstrebenzimmerung. 198.  
 Christina-Tunnel. 199.  
 Church-Hill-Tunnel. 190.  
 City- u. Süd-London-Bahn-Tunnel. 239.  
 Clichy-Tunnel extra muros (Sammelkanal). 266.  
 Clichy-Tunnel intra muros (Sammelkanal). 263.  
 Cochemer Kaiser Wilhelm-Tunnel (Sohlenstollen). 111.  
 Colladon'sche Kompressoren. 96.  
 Cuvelage (wasserdichte Zimmerung). 166, 349.  
 Cuvelagekränze. 166.  
 Czernitzer Tunnel. 178, 196.  
 Czernitzer Tunnel, Bruch der Mauerung. 321.  
 —, Wiederherstellungsarbeiten. 322.
- Dampfpumpen, unmittelbar wirkende. 353.  
 Dampfstrahlpumpen von Giffard, verbessert von Friedmann. 353.  
 Darlington-Stofsbohrmaschine. 75.  
 Day'sche Sicherheitslampe. 331.  
 Decken der Schüsse. 50.  
 Detonation. 42.  
 Detonatoren. 43.  
 Dettenberg-Tunnel, Tagebruch. 309.  
 Deutsche Tunnel-Bauweise. 171, 172, 175.  
 Deutsches Tunnelprofil. 366.  
 Diamantbohrmaschine. 86.  
 Dichtung der Flanschen im Hudson-Tunnel. 246.  
 Donlägige (geneigte) Schächte. 7, 297, 371.  
 Donlägige Schichten. 151.  
 Doppelkeilhau (englische). 11.  
 Drehbohrmaschinen. 67, 86, 120.  
 Dreimännisches Bohren. 19.  
 Druckluft-Anwendung zur Wasserabhaltung bei Schilden. 234.  
 —, bei Senkkasten. 270.  
 Druckluftpumpen. 95.  
 —, nasse. 96.  
 —, trockene. 97.  
 Druckluft-Stofsbohrmaschinen. 69.  
 Druckpumpe für Schachtanlagen. 351, 352.  
 Druckstrecke, nördliche des St. Gottard-Tunnels. 324.  
 Druckverlust bei Luftleitungen. 100.  
 Druckwasser Bohrmaschine. 89.  
 Druckwasserkran. 246, 256.  
 Dubois-François'sche Druckluftpumpe. 96, 99.  
 Dubois-François-Stofsbohrmaschine. 73.  
 Durchbrechung einer Wasserscheide. 359.  
 Durchörterung. 14.  
 Dynamit. 24, 48.
- Eckverblattung. 154.  
 Einbrechen in den Tunnel. 167.  
 Einbruch. 59.  
 Einbruchschiefen. 59.  
 Einbühnen der Stempel. 164, 165.  
 Eingeschneide. 155.  
 Einkehlen. 154.  
 Einpressen der Luft (Pulsion). 336, 345.

- Einräderige Karre. 128.  
 Einschnittschlitz. 370.  
 Einschnittstollen. 370.  
 Einsetzen der Hölzer. 154.  
 Einstrich oder Anfall. 156, 164.  
 Eisen (Meißel). 14.  
 Eisenrüstung. 152.  
 Eisenrüstung nach Rziha. 200.  
 Elektrische Beleuchtung. 355.  
 — — des Milseburg-Tunnels. 355.  
 Elektrische Drehbohrmaschinen.  
     87.  
 Elektrische Stofsbohrmaschinen.  
     80.  
 Elektrische Zündung. 39.  
 Ender-Tunnel. 210.  
 Endstrecke (offener Einschnitt).  
     269.  
 Englische Tunnel-Bauweise. 171,  
     174, 203.  
 Englische Zimmerungsart. 203.  
 Englische Keilhaue. 11.  
 Entwässerung. 299.  
 Entwässerung des Tunnelmauer-  
     werks. 286.  
 Entwässerungsstollen. 349.  
 Erneuerung der Tunnelmauerung  
     während des Eisenbahnbetriebes.  
     326.  
 Erschütterungskugel. 51.  
 Erweiterung des Tunnelausbruch-  
     Profils. 298.  
 Explosion. 42.  
 Explosionskugel. 51.  
**F**äustel. 14, 17.  
 Fahrbare Bohrgestelle. 93, 94, 95.  
 Fahrgestänge. 129.  
 Fahrtrume. 373.  
 Fahrung. 164, 373.  
 Fallthore in Schächten. 150.  
 Fangvorrichtungen. 148.  
 — — von v. Sparre. 149.  
 Feldgestänge. 353.  
 Ferroux'sche Stofsbohrmaschine.  
     73, 79, 106.  
 Ferroux'sches Bohrgestell. 94.  
 Festes Gebirge. 9, 10.  
 Feuersetzen. 14.  
 Fimmel. 11, 12.  
 First. 13.  
 Firstbrüche. 305.  
 — —, Wiederherstellung. 309.  
 Firstenbau. 192.  
 Firststollen. 8, 171.  
 Firststollen, überhöhte. 178.  
 Firstvorzimmerung oder Firstver-  
     zug. 157.  
 Flüssige Luft für Sprengzwecke. 20.  
 Förderbahnen. 129.  
 Fördereinrichtungen, besondere —  
     vor Ort. 132.  
 Fördergefäße. 127.  
 Fördergestänge. 128.  
 Fördergestell. 148.  
 Fördergleis, Spurweite des — es  
     130.  
 Fördergleise beim Simplon-Tunnel.  
     136.  
 Förderkörbe. 148.  
 Fördermaschinen. 142.  
 Fördermaschinen mit Dampfbetrieb.  
     144.  
 — —, Stärke der —. 145.  
 Fördermittel. 128.  
 Fördern der Berge. 8, 373.  
 Förderschalen. 148.  
 Förderstrecke. 128.  
 Fördertrume. 373.  
 Förderung. 127, 299.  
 —, rollende. 128.  
 —, schwimmende. 128.  
 — —, vor Ort. 233.  
 Förderwagen in Marienthal. 134.  
 — beim Arlberg-Tunnel. 135.  
 Fortschritte bei ausgeführten  
     Schächten. 376.  
 — — — Stollen. 374.  
 — — — Tunneln. 378.  
 Freiesleben-Schacht. 116.  
 Friedmann'sche Dampf-Strahl-  
     pumpe. 353.  
 Fröhlich's Stofsbohrmaschine  
     75, 102.  
 — — —sches Bohrgestell. 94.  
 — — —sche Bohrsäule. 93.  
 Froschlampe. 354.  
 Froschmaul. 154.  
 Führungsplatten in Schächten. 148.  
 Füllkorb. 127.  
 Füllort. 130, 142.  
 Fülltrog. 10, 127.  
 Füllungshölzer. 156.  
 Fuchs (verbohrtes Loch) 18.  
 Funkenzünder. 40.  
 Fufspfahl. 157.  
 Fufswandruten. 162.  
**G**aisfuß. 11.  
 Gasbeleuchtung. 355.  
 Gebirge. 8.  
 Gebirgsdruck. 302, 363, 365.  
 Gebräch. 9, 10.  
 Gefrierverfahren. 161.  
 Gelatinedynamit. 26.  
 Gespärre. 162.  
 Gestänge. 129, 353.  
 Gestängepumpen. 351, 352.  
 Gestein, festes. 8, 9.  
 —, gebräches. 9, 10.  
 —, Lösen des —s. 8.  
 —, mildes. 9, 10.  
 —, rolliges. 9.  
 Gesteinswärme verschiedener Tun-  
     nel. 331.  
 Gestellwagen. 128, 129, 147.  
 Getriebezimmerung. 152, 159.  
 Getriebezimmerung beim Schacht-  
     bau. 165.  
 Gewicht der Bohrmaschinen. 77.  
 Gewinnen des Gesteins. 9.  
 Gezähe. 9, 10, 153.  
 Giffard'sche Dampfstrahlpumpen.  
     353.  
 Giftige Wetter. 330.  
 Gleise, Zahl der — für Stollenförde-  
     rung. 131.  
 Glonoin. 23.  
 Glühzünder. 40.  
 Göpel. 143.  
 —, mit Schleppstange. 144.  
 Göpelförderung. 143.  
 Göpelstock. 143.  
 Gotthard-Tunnel. 182.  
 Gotthard-Tunnel (Richtstoll.) 104.  
 Gotthard-Tunnel, Erneuerung  
     der Mauerung in der nördlichen  
     Druckstrecke. 324.  
 Greathhead'scher Schild. 230, 239,  
     262.  
 Größe der Ladung. 55.  
 Grubenbeil. 153.  
 Grubengas. 331.  
 Grubenschienen. 129.  
 Gruben- oder Tunnelwagen. 129.  
 Grundmauern der Tunnelverklei-  
     dung. 282.  
 Grundsohle bei der Thürstock-  
     zimmerung. 157.  
 Guhrdynamit. 25.  
**H**ängebank. 142, 147, 149.  
 Häuer. 9.  
 Häuerarbeit. 10, 11, 13.  
 Hackgebirge. 9.  
 Hagenacker Tunnel. 199.  
 Halde. 130.  
 Hall'scher Pulsometer. 354.  
 Hambruch'sches Syphonoid. 350.

- Handbohren. 15.  
 Handfäustel. 154.  
 Hand-Gesteinsbohrmaschinen. 89.  
 Harward-Tylor'sche Dampf-  
 pumpen. 353.  
 Haspel. 142.  
 — mit Vorgelege. 143.  
 Hauenstein-Tunnel. 208.  
 Haufwerk. 9.  
 Haugebirge. 9.  
 Haupt (eines Schachtes). 165.  
 Hauptgevier. 165.  
 Hauptgewölbe. 283.  
 Haupthölzer. 151, 161.  
 Hauptschacht. 373.  
 Hauwerkzeug. 11.  
 Helm (Stiel der Haue). 10.  
 Hilfs- oder Mittelgevier. 165.  
 Hilfsschacht. 373.  
 Hilfsthürstock. 160.  
 Hintermauerung. 285.  
 Höhenmarken im Tunnel. 294.  
 Hönebach-Tunnel. 185.  
 Hörner (aufgesteckte Kurbeln). 142.  
 Hoher Stollen. 196.  
 Hohlladen der Bohrlöcher. 45.  
 Holzverbindungen beim Tunnelbau.  
 154.  
 Hoosac-Tunnel (Richtstollen). 108.  
 Homberger Tunnel. 194.  
 Hornhaspel. 142.  
 Hubpumpe. 351, 352.  
 Hudson-Tunnel. 241.  
 Humboldt'sche Druckluftpumpe.  
 96, 99.  
 Hund. 129.  
 Hundslauf. 129.  
 Hundsstöfser. 129.  
 Ingersoll-Stofsböhrmaschine. 73.  
 Instrumente zum Abstecken. 293.  
 Joche. 161, 164.  
 Jochzimmerung. 161, 162.  
 Ippenser Tunnel. 202.  
 Italienische Lampe. 354.  
 Ixenstrebe. 162.  
 Ixenwandruten. 196.  
 Ixenwinkel. 152.  
 Kaiser Wilhelm-Tunnel. 197.  
 Kalotte. 172.  
 Kanaltunnel. 368.  
 Kanaltunnel-Querschnitte. 368.  
 Kappe (Zimmerung). 156, 157, 162,  
 164.  
 Kappenbock. 162.  
 Kappenunterzüge. 162.  
 Karre. 128.  
 Kasten (Schacht-Förderungsgefäß).  
 147.  
 Kastenwagen. 129.  
 Kastenzimmerung. 165.  
 Kaukamm (Grubenbeil). 153.  
 Kehlplatten (eines Schachtes). 148.  
 Keil. 11, 12.  
 Keilhaue. 11, 12.  
 Kern (stehenbleibender Teil bei  
 der deutschen Bauweise. 175).  
 Kernbau. 172.  
 Kippwagen. 128, 129.  
 Klammern. 155.  
 Klammhaken. 155.  
 Klinker (für Tunnelmauerung). 277.  
 Klüftung, Einfluß der. 58.  
 Kolbenbohrer. 15.  
 Kompressoren von Colladon. 96.  
 — — Dubois-François. 96.  
 — — Humboldt in Kalk. 96.  
 — — Sturgeon. 97.  
 — — Burckhardt u. Weifs.  
 98.  
 Kosten der Sprengarbeit beim  
 Handbohren. 60.  
 — der Tunnel. 214, 216, 388.  
 —, Formeln zur Berechnung der  
 Baukosten. 389.  
 —, Gesamt- für eingleisige Tunnel.  
 400.  
 —, — für zweigl. Tunnel. 394.  
 —, veranschlagte, für einzelne  
 Tunnel der Gotthard-Bahn. 390.  
 Kosten der Schildbauweise. 235.  
 Krähberg-Tunnel. 189.  
 Krätzer. 17.  
 Krail (rechenartige Kratze). 10.  
 Kraftbedarf der Druckluft-Stofsböhr-  
 maschinen. 76.  
 Kratze. 10, 12, 127.  
 Kreuzbohrer. 15.  
 Kronbalken. 161, 162.  
 Kronenbohrer. 15.  
 Kübel. 147.  
 Künstliche Lüftung. 334.  
 Kunstkreuz oder Pumpenkreuz. 353.  
 Kunstschlufs. 284.  
 Kunsttrume. 373.  
 Kurbelstofsbohrmaschine von Sie-  
 mens & Halske. 68, 80.  
 Laden der Bohrlöcher. 43, 49.  
 Laden (Pfähle bei der Zimmerung).  
 157.  
 Ladung, Größe der —. 55.  
 Länge der Tunnel. 361.  
 Längstrügersystem. 203, 209.  
 Langhölzer. 162.  
 Lagerung von Sprengstoffen. 33.  
 Langschwellen. 158.  
 Laschen. 156.  
 Laufruten. 162.  
 Lehrbögen. 278.  
 —, Aufstellung. 280.  
 —, Ausrüstung. 281.  
 —, eiserne. 279.  
 —, eiserne — beim Sammelkanal  
 von Clichy. 265.  
 —, Verschalung. 280.  
 — mit Sprengwerkgerüst. 278.  
 Lehrgerüste. 278.  
 Lehrgerüste, bewegliche. 279.  
 Leistung der Druckluftstofsbohr-  
 maschinen. 76.  
 Leistung der Motoren. 137.  
 Leitbäume in Schächten. 148.  
 Lettenhaue. 10.  
 Linde, Oxyliquid. 20.  
 Lösen des Gesteins. 8, 13.  
 Lösen vor Ort. 233.  
 Lösung der Schüsse. 50.  
 Londoner Untergrundbahn. 262.  
 Lüftung der Tunnel. 8, 330.  
 Lüftung im Betrieb befindlicher  
 Tunnel. 339.  
 Lüftungsarten, Beispiele verschiede-  
 ner —. 343.  
 Lüftung, künstliche. 334.  
 —, natürliche. 332.  
 —, Aspiration. 334.  
 —, Bedürfnis der —. 330.  
 —, Pulsion. 336.  
 Luftkompressoren. 95.  
 Luftleitungen. 339.  
 Luftverbrauch der Bohrmaschinen.  
 79.  
 Lutten (Lüftungskanäle, Wetter-  
 lutten). 334, 339.  
 Mac Kean-Seguin-Bohrmaschi-  
 nen. 106.  
 Mansfelder Querschläge u. s. w.  
 116.  
 Magnesiumlampe. 356.  
 Marienthaler Tunnel. 187.  
 —, Arbeitsplan. 381.  
 —, Bauvorgang. 381.  
 —, Mauerung des Tunnelkanals.  
 384.  
 —, Förderung der Ausbruchsmassen. 384.  
 —, Sohlenstollen. 112.  
 —, Zeiteinteilung. 382.

- Maschinenbohren, 66.  
 —, Arbeitsbetrieb beim —. 101.  
 Mauermaterialien für Tunnelbau, 276.  
 Mauersteine, 277.  
 Mauerung, Ausführung, 282.  
 —, Grundmauern, 283.  
 —, Hauptgewölbe, 283.  
 —, Hintermauerung, 285.  
 —, Kunstschluß, 284.  
 —, Sohlengewölbe, 284.  
 —, Tunnel-, 276.  
 —, Widerlager-, 283.  
 —, Wiederherstellung zerstörter —, 320.  
 Meißelbohrer, 15.  
 Menne'sche Tunnelbauweise, 156.  
 Menne'sche Zimmerungsart, 203, 209.  
 Mersey-Tunnel, 220, 250.  
 Methoden des Tunnelbaues, 171, 211.  
 —, belgische, 173, 178.  
 —, — mit Anwendung amerikanischer Zimmerung, 190.  
 — mit Firststollenbetrieb, 180.  
 — mit Sohlenstollenbetrieb, 185.  
 —, Beurteilung der verschiedenen —, 211.  
 —, deutsche, 172, 175.  
 — Dauer der Ausführung, 214.  
 —, englische, 174, 203.  
 — mit englischer Zimmerungsart, 203.  
 — mit Längsträgersystem (Menne), 209.  
 —, österreichische, 174, 192.  
 —, Centralstrebenzimmerung, 198.  
 —, österreichische Zimmerungsart, 193.  
 —, Eisenrüstung, 200.  
 —, Kosten der Ausführung, 214.  
 —, Sicherheit bei der Ausführung, 212.  
 Mildes Gebirge, 9, 10.  
 Milseburg-Tunnel, Werkplatz des —s, 387.  
 Minenrichter, 51.  
 Minenzündvorrichtungen von Siemens & Halske, 40.  
 Mittelbohrer, 16.  
 Mittelgevier (Zimmerung), 160.  
 Mittelschwelle, 162.  
 Mittel zur Lüftung, 332.  
 Mörtel, Wahl des — s. 277.  
 Mont Cenis-Tunnel, 186.  
 Mont Cenis-Tunnel, Richtstollen-Bohrung, 104.  
 Motoren bei der Stollenförderung, 137.  
 Mülhausener Tunnel, 197.  
 Mundlöcher, Angriff von freien —n aus, 369.  
 Mundlochbrüche, 301, 305.  
 —, Wiederherstellung, 318.  
 Mundlochschächte, 370, 371, 373.  
 Musconetcong-Tunnel (Richtstollen), 109.  
 Nachnehmen der First, 179.  
 — des Profils, 285.  
 Natürliche Lüftung, 332, 343.  
 Nägel, 155.  
 Naenser Tunnel, 201.  
 Nitroleum, 22.  
 Nitroglycerin, 22.  
 Nesquehoning-Tunnel (Richtstollen), 110.  
 Nufsdorfer Schleuse (Speisekanal), 271.  
 Öhr, 11.  
 Örtchen, 11.  
 Österreichische Tunnel-Bauweise, 171, 174, 192.  
 Österreichische Zimmerung, 193.  
 Offene Einschnitte bei Tunnelausführungen, 269.  
 Ort, 13.  
 Ortbetrieb, 59.  
 Ortbruch, 301.  
 Ortförderung, 132, 137.  
 Ortstofs, 13, 163.  
 Otto-Schacht, 110.  
 Patentzündkapsel von Wittenberg, 39.  
 Patronen, 44, 46.  
 Pelzer'sche hohle Bohrer, 101.  
 Pelziges Gestein, 9.  
 Pfähle (Zimmerung), 153, 156.  
 Pfändung, 158.  
 Pfandblatt, 158.  
 —latte, 158.  
 —keile, 158.  
 Pfeife und Büchse, 47.  
 Pferdegöpel, 143.  
 Pickgebirge, 9.  
 Picotagekranz, 166, 167.  
 Pilot-Tunnel (Richtstollen), 243.  
 Piquet (Mefsstange), 293.  
 Plattformwagen oder Bühnenwagen, 128, 147.  
 Platthacke, 10.  
 Pneumatophor, 338.  
 Profilehren, 278.  
 Pulsion, 334, 336, 345.  
 Pulsometer von Hall, 354.  
 Pumpengestänge, 351.  
 Pumpenkreuz, 353.  
 Pumpenstiefel, 351.  
 Punkte vor Ort, 293.  
 Querschlag auf Grube „Deutschland“ in Westfalen, 118.  
 Querschläge auf Grube „Mansfeld“ in Westfalen, 117.  
 Querschläge auf Grube „Mossen“, 118.  
 Querschlag auf Zeche „Rheinpreußen“ bei Homberg, 121.  
 Querschnitte (-profile) der Tunnel, 362.  
 —, eingleisige —, 367.  
 —, Erweiterung der —, 298.  
 —, überhöhte Form, 363.  
 —, Überhöhung der —, 298.  
 —, zweigleisige —, 366.  
 Querverpfähung, 162.  
 Raketen (Zünder), 37.  
 Rampenschlitz, 370.  
 Rand'sche Stofsbohrmaschine, 75.  
 Raumnadel, 37.  
 Rettungsapparate, 338.  
 Richtstollen, 171.  
 Richtstollenanordnung, 299.  
 Richtung der Bohrlöcher, 58.  
 Richtung und Höhe in Tunneln, Bestimmung der —, 293.  
 Richtungsmarken im Tunnel, 294.  
 Ringe, 156.  
 Rohrleitungen, 100, 101.  
 Rollbahnen, 128.  
 Rollende Förderung, 128.  
 Rolliges Gebirge, 9.  
 Rolllöcher oder Rollen, 128, 299.  
 Roosebecker Tunnel, 180.  
 Root'sche Kapselräder, 336.  
 Rosenstein-Tunnel, 177.  
 Rott-Tunnel bei Barmen (Richtstollen), 110.  
 Rüstbäume, 165.  
 Rüstungen für die Maurer, 285.  
 Rumpf, 229.  
 Rundholz, 153.  
 Rundseile, 146.  
 Rziha'sche Eisenrüstung, 200.  
 Säge, 153.  
 Säulen oder Ständer, 157.

- Saccardo'sche Lüftungsvorrichtung. 340.  
 — in Anwendung auf den Gott-  
 hard-Tunnel. 346.  
 Saigere Schächte. 7.  
 Saigerteufe. 297.  
 Sattel. 305.  
 Säugsatz. 351.  
 Schächte 7.  
 Schablonenhölzer oder Zirkelhölzer.  
 195.  
 Schachtanlagen. 373.  
 Schachtanlagen, Fortschritt bei  
 der Ausführung. 377.  
 Schachtfördergefäße. 147.  
 Schachtförderung. 127, 142.  
 — Kosten der —. 151.  
 — bei geneigten (donlägigen)  
 Schichten. 151.  
 Schachtfallthore. 150.  
 Schachtführungen. 147.  
 Schachtgefäße. 142.  
 Schachtgeviere. 164.  
 Schachtgitter. 150.  
 Schachtkranz. 164.  
 Schachtmund. 150, 371.  
 Schachtmundloch. 130.  
 Schachtquerschnitte. 380.  
 Schachtschlösser. 165.  
 Schachtsohle. 13.  
 Schachtstöße. 13.  
 Schachtstuhl. 167.  
 Schachtsumpf. 142, 351.  
 Schachttrume. 164.  
 Schachtzimmer. 164.  
 Schachtzimmerung. 152, 164.  
 Schalhölzer. 148.  
 Schallatten. 289.  
 Schar (Holzverbindung). 154.  
 Schaufel. 10, 12.  
 Schichtung des Gesteins. 360.  
 Schiefsmeister. 48.  
 Schilde. 161, 228.  
 Schildbauweise. 227, 228.  
 Schildmantel. 228.  
 Schild des Blackwall-Tunnels. 254.  
 — des Mersey-Tunnels. 251.  
 — des St. Clair-Tunnels. 247.  
 Schildvortrieb am Hudson-Tunnel.  
 245.  
 Schiefsrohr. 37.  
 Schlägel. 14.  
 Schlagende Wetter. 330.  
 Schlammöffel (s. Krätzer). 17.  
 Schlechte Wetter. 330.  
 Schleifen, Förderung durch. 128.  
 Schleppen, der Berge. 8.  
 Schlepper. 129.  
 Schlepptrog oder Schlitten. 128.  
 Schleusenwand. 229, 234.  
 Schmand (Bohrschlamm). 18.  
 Schmiegen. 154.  
 Schnappen des Pfahles. 163.  
 Schneide des Schildmantels. 229.  
 Schrämhammer (s. Berghammer).  
 11, 12.  
 Schrämspiess. 11.  
 Schram (Schlitz). 13.  
 Schrotzimmerung, ganze. 164, 165.  
 Schürze, eiserne, beim Blackwall-  
 tunnel. 257.  
 Schüsse, Sitzenbleiben der —. 47.  
 Schubstreben. 162, 204.  
 Schufgebirge. 9.  
 Schutterkanone. 136.  
 Schutterpartie. 136.  
 Schwaden. 330.  
 Schwarten. 153.  
 Schwarzpulver. 20.  
 Schwelle. 157.  
 Schwellenunterzüge. 162.  
 Schwelmer Tunnel. 144, 198.  
 Schwelmer Firstenbruch. 307.  
 Schwimmende Förderung. 128.  
 Schwimmende Gebirge. 363.  
 Seile. 146.  
 —, Querschnitt, der —. 146.  
 — als Schachtführungen. 148.  
 Seil- und Hakenverbindungen. 147.  
 Seilkorb oder Seiltrommel. 143.  
 Seilscheibe. 146.  
 Seiltrommel. 143, 145.  
 Seitenstöße. 13, 157.  
 Seitenstollen. 372.  
 —, Bauangriff mit Hilfe von —. 372.  
 Seitenverzug. 158.  
 Senkkasten-anwendung mit Prefs-  
 luft. 270.  
 Senkverfahren. 166.  
 Setzen des Bohrers. 18.  
 Setzlampen. 293.  
 Severn-Tunnel. 221.  
 Sicherheitslampe. 331.  
 Sicherheitszündler. 37.  
 Siemens u. Halske'sche Kurbel-  
 stofsbohrmaschine. 68, 80.  
 Siemens u. Halske'sche elek-  
 trische Drehbohrmaschine. 87.  
 Signale bei der Schachtförderung.  
 150.  
 — bei Messungen im Tunnel. 293.  
 Sitzenbleiben der Schüsse. 47.  
 Sohle des Tunnels. 13.  
 Sohlenbruch. 301.  
 Sohlengewölbe. 284.  
 Sohlenschlitz. 172.  
 Sohlenstollen. 8, 171, 372.  
 Sommeiller'sche Druckluftpum-  
 pen. 96.  
 Sommeiller'sche Maschinen. 66.  
 Sonnstein-Tunnel (Stollen). 120.  
 Spannriegel. 162.  
 Sparren. 162.  
 Sparrenbock, oberer u. unterer. 162.  
 Sparrenfüße. 162.  
 Sparrenwandruten. 162.  
 Sparrenzimmer. 161, 162, 193.  
 Sparrenzimmerung. 161.  
 Spaten. 10, 12.  
 Spitzberg-Tunnel (Schachtbe-  
 trieb). 145.  
 Spitzhacke. 11.  
 Spitzmeißel. 14.  
 Spree-Tunnel bei Berlin (Schild-  
 anwendung). 258.  
 Spreizen. 162.  
 Sprengarbeit. 10.  
 Sprengarbeit ohne Maschinen. 14.  
 Sprengbolzen (Zimmerung). 158, 162.  
 Sprenggelatine. 26, 48.  
 Sprengkegel. 51.  
 Sprengmittel, Aufbewahren der —.  
 28, 33.  
 —, Transport der —. 28, 30.  
 Sprengöl. 23.  
 Sprengpatronen. 48.  
 Sprengpulver. 21, 48.  
 Sprengstoffe und Sprengtechnik,  
 Litteratur. 64.  
 Sprengstoffe. 19.  
 Sprengwirkung. 51.  
 Spurweite der Fördergleise. 130.  
 Stangenförderung. 138.  
 St. Clair-Tunnel. 247.  
 St. Cloud-Tunnel. 185.  
 Stempel. 156, 157, 164, 203, 204.  
 Stichegebirge. 9.  
 Stollen. 7.  
 Stollenbauten, Fortschritte bei der  
 Ausführung. 375.  
 Stollenausbau in Eisen. 158, 159.  
 Stollen auf Grube Rozstocken in  
 Oberungarn. 119.  
 Stollenförderung. 127, 130.  
 —, Leistung bei der —. 140.  
 Stollengevier. 157.  
 Stollenprofil, Größe des —s. 137.  
 Stollenzimmer. 157.  
 Stollenzimmerung. 152, 156.  
 Stofs, Stöße. 13.  
 Stofsbohrer. 17.

- Stofsbohrmaschinen. 67.  
 Streben. 162.  
 Strebenfuß. 162.  
 Strebensäule. 162.  
 Strebeschienen. 201.  
 Strecken. 7.  
 Streckenförderung oder Stollen-  
 förderung. 127.  
 Strosse. 8, 17, 179.  
 Strossenbau. 192.  
 Strossensparren. 162.  
 Stufe. 160.  
 Stufenbretter. 160.  
 Stumpfes Zusammensetzen der  
 Hölzer. 154.  
 Sturgeon'sche Druckluftpumpe.  
 97.  
 Sturzbühnen. 128.  
 Sumpflöcher. 351.  
 Syphonoid von Hambruch. 354.  
**T**agebrüche. 305.  
 —, Wiederherstellung. 311.  
 Tageförderung. 127.  
 Teilschilde, Anwendung von. 265.  
 Tempern des Stahles. 17.  
 Tesch-Tunnel. 181, 285.  
 Themse-Tunnel. 203.  
 Thürstock. 157.  
 Thürstocksäulen. 157.  
 Thürstockverbindung. 154.  
 Thürstockzimmerung. 157.  
 Tiefe der Bohrlöcher. 56.  
 Tiefenbestimmung im Schacht.  
 297.  
 Tonne (Schachtfördergefäß). 147.  
 Tragen, Stollenförderung durch —.  
 128.  
 Tragestempel (eines Schachtes).  
 164.  
 Treibefäustel. 11, 12, 153.  
 Treiben der Stollen. 8.  
 Triebitzer Tunnel. 176.  
 Trockene Druckluftpumpen. 97.  
 Trockenbagger des Central-London-  
 Tunnels. 262.  
 Trume. 373.  
 Tunnel. 1.  
 —, Fortschritte bei der Ausführung.  
 378, 380  
 —, Länge der —. 361.  
 Tunnelauskleidung. 231.  
 — im Hudson-Tunnel. 246.  
 Tunnelbau, Ausführung. 171, 291.  
 —, Beschleunigung des —. es.  
 300, 369, 372.  
 —, Dauer der Ausführung. 214.  
 Tunnelbau, Kosten der Ausführung.  
 214, 215.  
 —, Sicherheit der Ausführung.  
 212, 215.  
 — unter Wasser bei berg-  
 männischer Ausführung. 220.  
 —, Verwendung besonderer Hilfs-  
 mittel. 225.  
 Tunnelbauweisen (s. Methoden des  
 Tunnelbaues). 171.  
 —, Beurteilung der —. 211, 219.  
 Tunnelbrüche. 300.  
 —, Firstenbruch. 301, 306, 312.  
 —, Mundlochbruch. 301, 318.  
 —, Ortbruch. 301.  
 —, Sohlenbruch. 301.  
 —, Tagebruch. 300, 306.  
 —, Ulmenbruch. 301.  
 Tunnelkanal. 286, 288.  
 Tunnellänge, Feststellung der —.  
 361.  
 Tunnelmauerung. 276.  
 —, Entwässerung der —. 286.  
 —, Erneuerung der — während  
 des Eisenbahnbetriebes. 326.  
 —, Wiederherstellung der —. 320.  
 Tunnelnischen. 289.  
 Tunnelrichtung, Bestimmung der —.  
 299.  
 Tunnelschächte. 371, 373.  
 Tunnelschrauben. 202.  
 Tunnelthore. 289.  
 Tunnelvortrieb beim Blackwall-  
 Tunnel. 255.  
 Tunnelquerprofile. 362.  
 Tunnelquerschnitte. 362.  
 — für eingleisige Bahn. 367.  
 — für zweigleisige Bahn. 366.  
 Tunnelrahmen. 200.  
 Tunnelringe. 240.  
 Tunnelzimmerung. 152, 161, 175.  
**Ü**berblattung, einfache —. 154.  
 Überhöhung des Tunnelausbruch-  
 profils. 298.  
 Ulme. 13.  
 Ulmenbruch. 301.  
 Ulmenwandruten. 162.  
 Umläufe. 167.  
 Union-Drehbohrmaschine. 88.  
 Union-Stofsbohrmaschine. 81.  
 Universalklaue. 93.  
 Untergespärre. 162.  
 Unterwassertunnel. 220.  
 —, Verwendung besonderer Hilfs-  
 mittel bei —. 225.  
 Ursachen der Tunnelbrüche. 301.  
 Unterzüge. 158.  
**V**entilation, s. Lüftung.  
 Ventilatoren. 336.  
 Verbauen des Tunnelraumes. 8.  
 Verbrennungsgase. 341.  
 —, Einwirkung auf den Menschen.  
 341.  
 Verdämmung. 37.  
 Verdrückungen im Tunnel. 304.  
 Vergleichung verschiedener Spreng-  
 stoffe. 35.  
 Verkehr und Handel mit Spreng-  
 stoffen. 31.  
 Verladung (Verdämmung od. Be-  
 satz). 37.  
 Vermehrung der Angriffspunkte  
 im Tunnel. 300.  
 Verpfählung. 158.  
 Versatz (Zimmerung). 157.  
 Versendung der Sprengmittel. 30.  
 Verschalung der Lehrbögen. 280.  
 Versetzen oder Ausfüllen der Hohl-  
 räume. 163, 164, 283.  
 Versetzen der Verkleidungsplatten  
 im Hudson-Tunnel. 247.  
 Verunreinigung der Luft im Tunnel.  
 341.  
 Verwendung besonderer Hilfs-  
 mittel. 225.  
 Verwerfungen des Gesteins. 360.  
 Verzimmerung. 8.  
 Verzug des Ortstosses. 158.  
 Verzugs- oder Füllungshölzer. 156.  
 Vierzy-Tunnel (Wiederherstellung).  
 326.  
 Vollaussbruch. 171, 372.  
 —, Fortschritte des —. s. 379.  
 —, Herstellung des —. s. 101.  
 Vorarbeiten. 358.  
 Vorbereitende Arbeiten zur Wieder-  
 herstellung von Tunnelbrüchen.  
 304.  
 Vorgabe (bei der Sprengarbeit). 51,  
 52.  
 Vorgesümpfe (bei Schächten). 165.  
 Vor Kopf abbauen. 180.  
 Verschiebbare Pfähle. 206.  
 Vorsichtsmaßregeln beim Sprengen.  
 46.  
 Vorschub der Bohrmaschinen. 70  
 Vortriebsgeschwindigkeiten. 235.  
 Vortrieb in Thonboden. 240.

- Wagen für Stollenförderung.** 128.  
 —, Größe der —. 130.  
**Wagenförderung.** 128.  
**Wagen mit festem Kasten.** 128.  
**Wandruhen.** 161, 165, 193.  
**Wasserführung.** 349, 350.  
**Wassergöpel.** 143.  
**Wasserhaltung.** 8, 348.  
**Wasserhebung.** 349, 350, 354.  
**Wasserrösche.** 129, 350.  
**Wasserverteiler.** 101.  
**Weberkogel-Tunnel.** 177.  
**Weite der Bohrlöcher.** 57.  
**Welschenennester Tunnel**  
 (Firstenbruch). 313.  
**Wendeplätze (bei Stollenförderung).**  
 130.  
**Werkplatz des Milseburg-Tunnels.**  
 387.  
 — des Marienthaler Tunnels. 387.  
**Wetterluten.** 339.  
 —maschinen. 336.  
 —rüder (Ventilatoren). 336.  
 —schächte. 333.  
 —sätze 336.  
**Wettertrume.** 373.  
**Widerlager.** 283.  
**Wiederherstellung der Tunnel-**  
**mauerung während des Betriebes.**  
 326.  
**Wiederherstellungen bei Tunnel-**  
**brüchen.** 304.  
**Wien-Neustädter Schifffahrts-**  
**kanal, Einbau d. Wasserleitungs-**  
**rohre.** 238.  
**Wirkungsgrad der Sprengstoffe.** 35.  
**Wittenberg'sche Zündkapsel.** 39.  
**Wolfsberg-Tunnel.** 177.  
**Z-Bohrer.** 15, 83.  
**Zerstörungskugel.** 51.  
**Ziehen der oberen Joche.** 204, 209.  
**Zimmerhauer.** 280.  
**Zimmerhauerarbeit während der**  
**Mauerung.** 285.  
**Zimmerung.** 152.  
 —, wasserdichte. 166.  
 —, zusammengesetzte. 156.  
**Zimmerungsarten, Beurteilung der**  
 —. 215, 219.  
**Zimmerungsarten, Kostenvergleich.**  
 215.  
 —, belgische. 216.  
 —, österreichische. 216.  
 —, Centralstreben-. 217.  
 —, englische. 218.  
 —, Längsträger (Menne'sches  
 System). 217.  
 —, Rziha'sche Eisenrüstung. 218.  
**Zirkelhölzer.** 195.  
**Zone oder Vorbruchlänge.** 174.  
**Zünden der Schüsse.** 46.  
**Zünder.** 37.  
**Zündhütchen.** 48.  
**Zündkapsel.** 39.  
**Zündpatrone.** 46, 48, 49.  
**Zündschnur.** 48, 49.  
**Zündung, elektrische.** 39.  
**Zugbänder.** 156.  
**Zubrüsten der Bohrlöcher.** 18.  
**Zumachebretter.** 159.  
**Zusammenblatten.** 154.  
 —scharen. 154.  
 —zapfen. 155.  
**Zweimännisches Bohren.** 18.

---

### Berichtigungen.

- S. 144, Z. 1 v. o. statt „in geringen Umständen“ lies: „in geringen Abständen“.  
 S. 173, Z. 13 v. u. statt „Höhnebach“ lies: „Hönebach“.  
 Taf. IX, Fig. 20 u. 21 statt „Montbiliard“ lies: „Montbeliard“.



# Atlas

zum

Handbuch über Vorarbeiten, Erd-, Grund-, Strafsen-  
und Tunnelbau.

Fünfte Abteilung.

---

Dritte vermehrte Auflage.

---



# Inhalt der Zeichnungstafeln.

## Kap. IX. Tunnelbau.

### Tafel I. Stollenförderung.

	Seite im Text
Fig. 1—5. Förderung der Sohlenstollen-Massen beim Cochemer Tunnel . . . . .	130. 133
„ 6—9. Förderung der Firststollen-Massen beim Gotthard-Tunnel . . . . .	129. 133
„ 8a. Förderkorb oder Füllkorb . . . . .	127
„ 8 u. 9. Förderwagen im Gotthard-Tunnel . . . . .	129
„ 10 u. 11. Tunnelwagen der rheinischen Eisenbahn . . . . .	129. 130
„ 12 u. 13. Wagen des Ender Tunnels . . . . .	129. 132
„ 14 u. 15. Stangenförderung im Arlberg-Tunnel . . . . .	139. 140
„ 16 u. 17. Förderwagen des Arlberg-Tunnels . . . . .	129. 130. 135
„ 18—20. Förderung der Sohlenstollen-Massen im Marienthaler Tunnel . . . . .	134
„ 20. Fülltrog oder Bergtrog . . . . .	10. 127
„ 21 u. 22. Mörtelwagen . . . . .	282

### Tafel II. Anlagen für Schachtförderung, Schacht- und Stollenzimmerung.

Fig. 1 u. 2. Der Schachtbetrieb des Spitzberg-Tunnels . . . . .	145
„ 3—5. Der Schachtbetrieb des Schwelmer Tunnels . . . . .	144. 145
„ 5. Führungsrahmen . . . . .	144. 148
„ 6. Aufzug mit Fördergestellen . . . . .	148. 150
„ 7 u. 8. Einfache Kappe . . . . .	156
„ 9 u. 10. Firstverzug . . . . .	157
„ 11. Kappe mit einem Stempel . . . . .	157
„ 12. Thürstock . . . . .	157. 158. 350
„ 13. Verpfählung und Sprengbolzen . . . . .	158
„ 14 u. 14a. Getriebezimmerung . . . . .	159. 160
„ 15. Thürstock . . . . .	157. 350
„ 16. Thürstock mit Kappe aus Bahnschienen . . . . .	159
„ 17. Thürstock aus Bahnschienen beim Naenser Tunnel . . . . .	159
„ 18. Thürstock aus Bahnschienen . . . . .	159
„ 19. Österreichische Zimmerung . . . . .	155. 162
„ 20. Sparrenzimmerung . . . . .	161
„ 21 u. 22. Grundrisse der Schachtzimmerung . . . . .	164. 165
„ 23 u. 24. Schachtzimmerung (Bolzenschrotzimmerung) . . . . .	156. 164. 165
„ 25 u. 26. Schachtstuhl (Höhenschnitte) . . . . .	167

### Tafel III. Tunnel-Bauweisen. Deutsche und belgische Bauweise.

Fig. 1—15. Deutsche Bauweise . . . . .	172. 175
„ 1. Tunnel von Tronquoy (1803) . . . . .	175
„ 2. Tunnel von Pouilly (1824) . . . . .	176
„ 3 u. 4. Tunnel von Königsdorf (1837) . . . . .	176
„ 5—8. Rosensteiner Tunnel . . . . .	177
„ 9 u. 10. Triebitzer Tunnel (1842/44) . . . . .	177
„ 11. Czernitzer Tunnel (1854/58) . . . . .	178
„ 12—14. Wolfsberg- und Weberkogel-Tunnel (1849—1852) . . . . .	177
„ 15. Tunnel der Köln-Gießener Bahn (1856—1861) . . . . .	178
„ 16—37. Belgische Bauweise . . . . .	173. 180
„ 16—21. Roosebecker Tunnel (1838) . . . . .	179. 180. 181
„ 22—27. Tesch-Tunnel (1877/78) . . . . .	181. 285
„ 28—31. Gotthard-Tunnel (1872/82) . . . . .	182. 183. 184
„ 32. Hönebacher Tunnel . . . . .	185
„ 33. Tunnel von St. Cloud (1838) . . . . .	185. 278
„ 34—37. Church-Hill-Tunnel (1876) . . . . .	190

### Tafel IV. Tunnel bei Marienthal.

Fig. 1—9. Bauvorgang . . . . .	112. 174. 187. 188. 382
„ 10. Ausweitung des Bogenortes in weniger standfähigem Gebirge . . . . .	188. 382
„ 11 u. 12. Arbeitspläne . . . . .	189. 381. 384

Tafel V. Tunnel-Bauweisen. Englische und österreichische Bauweise.		Seite im Text
Fig. 1—20. Englische Bauweise . . . . .		162. 174. 203
" 1—7. Blechley-Tunnel (1840/42) . . . . .	203. 204. 205. 206. 278	
" 8—15. Hauenstein-Tunnel (1853/57) . . . . .	162. 207. 209. 278. 279. 281. 285	
" 16—20. Ender Tunnel (1876/78), Bauart Menne . . . . .	209. 210. 279. 281	
" 21—40. Oesterreichische Zimmerungsart . . . . .	174. 193	
" 21—28. Czernitzer Tunnel (1854/58) . . . . .	196. 279. 283. 285	
" 29. Tunnel bei Milhausen . . . . .	197	
" 30—36. Homberger Tunnel (1872) . . . . .	194. 280. 283. 285	
" 37—40. Tunnel bei Cochem (1874/77) . . . . .	197. 284	

Tafel VI. Die Eisenrüstung nach Rziha und die Centralstreben-Zimmerung.		Seite im Text
Fig. 1—8. Eisenrüstung nach Rziha . . . . .		200
" 1. Eisenrüstung ohne Schlangewölbe mit Mauerung . . . . .	200. 279	
" 2. Brustverzug . . . . .	200. 202	
" 3. u. 4. Vorgang bei der Mauerung . . . . .	201	
" 5. Lüftungsbogenstück . . . . .	200. 281	
" 6—8. Eisenrüstung bei Sohlengewölbe mit Mauerung . . . . .	200. 201. 279. 285	
" 9—23. Centralstreben-Zimmerung . . . . .	198	
" 9—15. Schwelmer Tunnel (1876/78) . . . . .	198. 199. 280	
" 16—20. Tunnel bei Hagenacker (1867/68) . . . . .	199	
" 21—23. Christina-Tunnel . . . . .	199. 200. 285	

Tafel VII. Unterwasser-Tunnel.		Seite im Text
Fig. 1. Entwurf für Tunnel in wasserreichem Erdreich . . . . .		269
" 2—4. Entwurf für einen eisernen Tunnel in der Sohle des Donau-Kanals in Wien . . . . .	270	
" 5—8. Der zweite Tunnel von Barlow . . . . .	237	
" 9. Der Severn-Tunnel (Längenschnitt) . . . . .	221	
" 10. Der Mersey-Tunnel (Längenschnitt) . . . . .	220	
" 11—24. Eisenbahntunnel unter dem Hudson . . . . .	241. 242. 243. 244	

Tafel VIII. Tunnel-Lehrbögen und Querschnitte.		Seite im Text
Fig. 1—4. Lehrbögen . . . . .		279. 284
" 5—15. Zweigleisige Tunnelquerschnitte . . . . .	364. 366	
" 16—19. Eingleisige . . . . .	367	
" 20. Stützlinie bei Tunnelquerschnitten . . . . .	364	
" 21 u. 22. Profile von Unterwasser-Tunneln . . . . .	220. 222	
" 23, 24 u. 28. Kanal-Tunnelquerschnitte . . . . .	368	
" 25—27. Unterwasser-Tunnel in Chicago . . . . .	269	
" 29. Brunels Themse-Tunnel . . . . .	235. 236	
" 30. Querschnittentwurf für einen Tunnel von Dover nach Calais . . . . .	224	

Tafel IX. Tunnelthore, Nischen und Querschnitte.		Seite im Text
Fig. 1—11. Tunnelthore . . . . .		290
" 12—14. Eingleisige Tunnelquerschnitte . . . . .	366. 367	
" 15—19. Tunnelnischen . . . . .	289	
" 20 u. 21. Tunnelquerschnitte des Kanals von Montbeliard zur oberen Saone . . . . .	368	
" 22—24. Querschnitte des Simplon-Tunnels . . . . .	367	

Tafel X. Tunnelbrüche.		Seite im Text
Fig. 1—6. Firstenbruch im Schwelmer Tunnel . . . . .	306. 307. 308. 309	
" 7—14. Tagebruch im Dettenberg-Tunnel . . . . .	309. 310. 311	
" 15—19. Durch Sprengung zerstörter Tunnel bei Vierzy . . . . .	326. 327. 328	

Tafel XI. Lüftungs-, Entwässerungs-, Maschinen- und Werkstätten-Anlagen.		Seite im Text
Fig. 1. Bauplatz des Milseburg-Tunnels . . . . .		387
" 2. Stollenvortrieb und Lüftung des Simplon-Tunnels, Südseite (Grundriß stark verkürzt) . . . . .		337
" 3. Nordmündung des Simplon-Tunnels . . . . .		338
" 4. Entwässerungsanlage am Tunnel von Habas . . . . .		349
" 5 u. 6. Pumpenkammer am Mundlochschacht des Schwelmer Tunnels . . . . .		353
" 7—9. Maschinen- und Werkstätten-Anlage für den Bau des Marienthaler Tunnels . . . . .		112. 113
" 9. Bauplatz des Marienthaler Tunnels . . . . .		387

310

Fig. 1-5. Förderung der Sohlenstollenmassen beim Cochemer Tunnel. M. 0.005 (1:200).

Fig. 1. Längenschnitt.

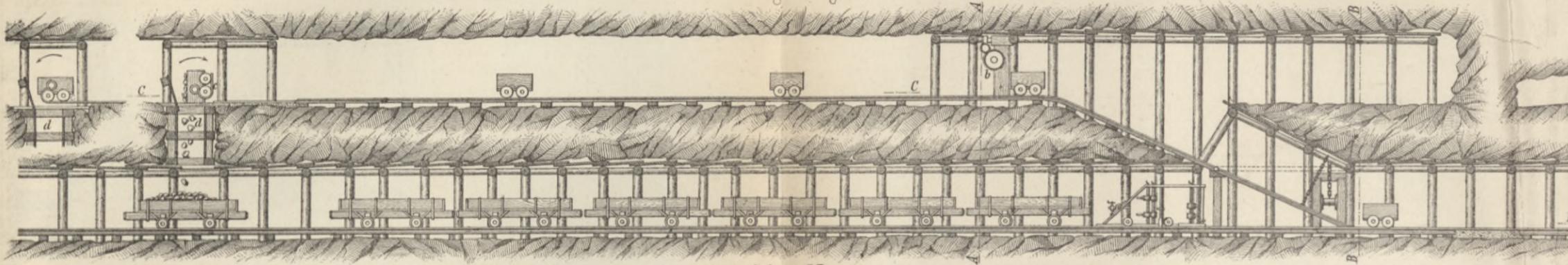


Fig. 3. Schnitt AA.

Fig. 4. Schnitt BB.

Fig. 2. Grundriss CC.

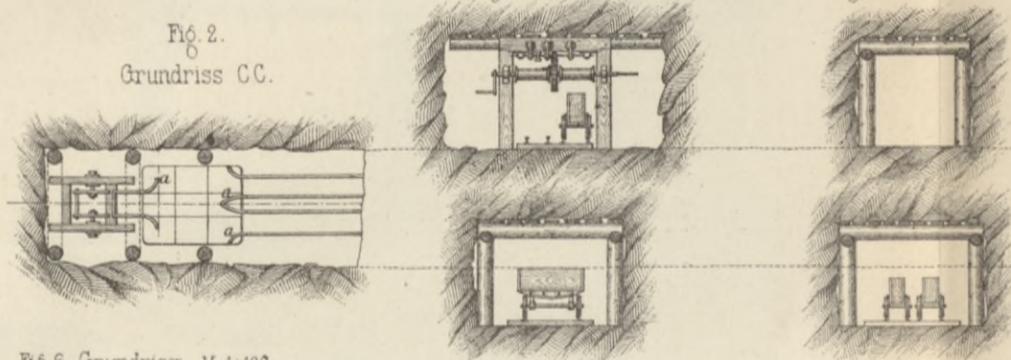


Fig. 5. Grundriss CD.

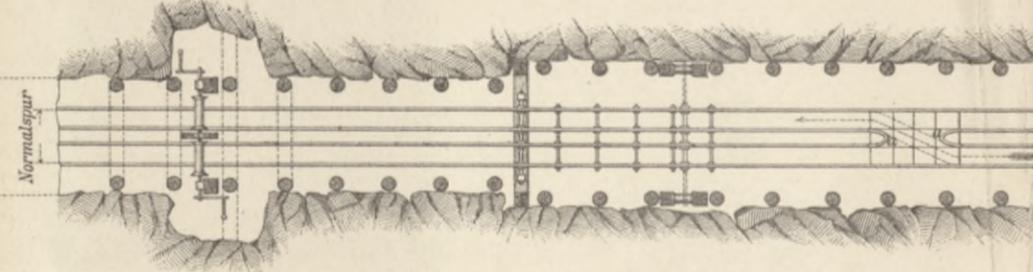


Fig. 6. Grundriss. M. 1:100.

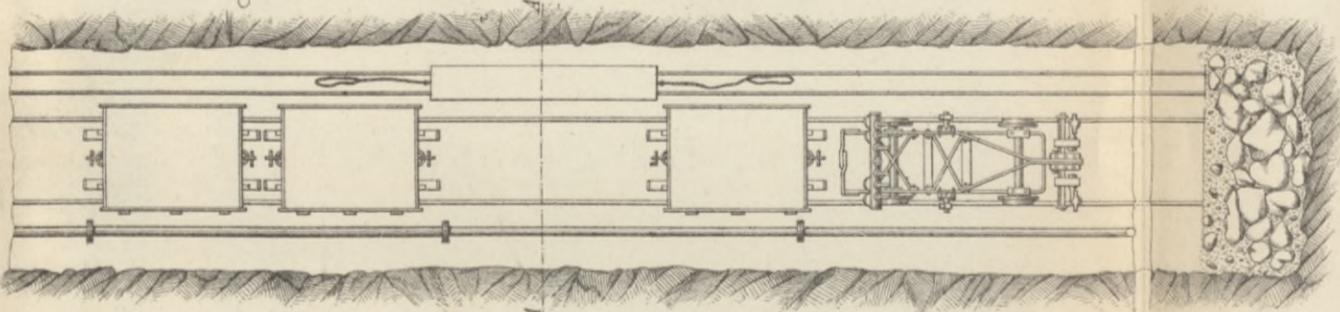


Fig. 7. Schnitt AA.

Fig. 6-9. Förderung der Firststollenmassen im St. Gotthard-Tunnel.

M. zu Fig. 7, 8 u. 9. 0.02 (1:50).

Fig. 8a. M. 0.04 (1:25).

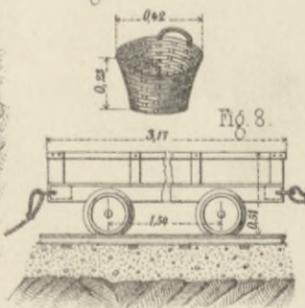


Fig. 8.

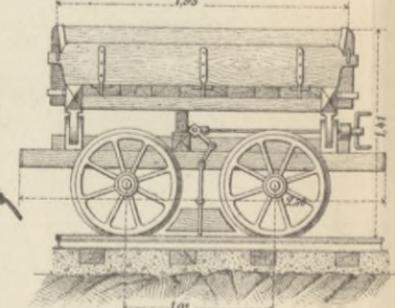


Fig. 9.

Fig. 12 u. 13. Wagen des Ender Tunnels.

M. 0.02 (1:50).

Fig. 12.

Fig. 13.

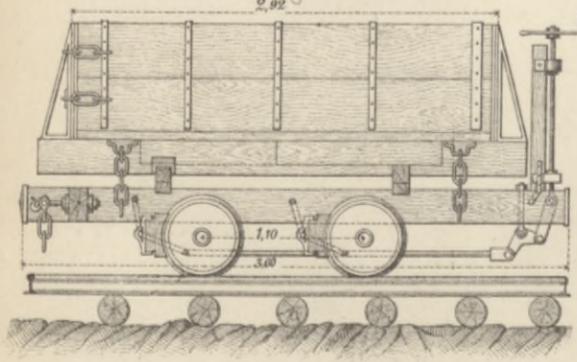


Fig. 13.

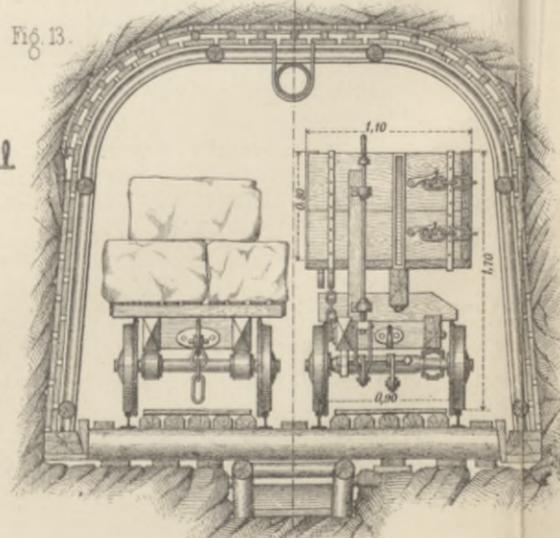


Fig. 14 u. 15. Stangenförderung im Arlberg-Tunnel.

Fig. 14. Längenschnitt.

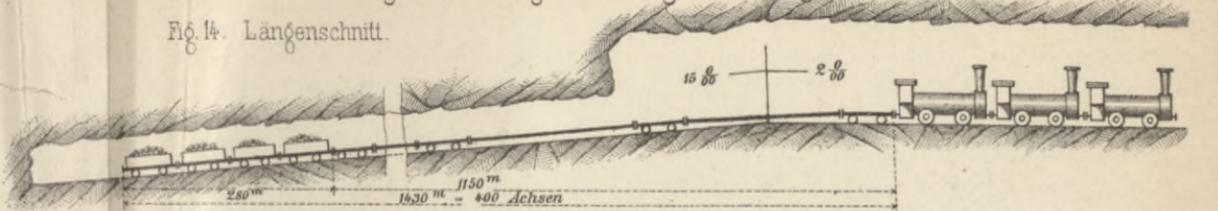


Fig. 15. Grundriss der Tunnelstation.

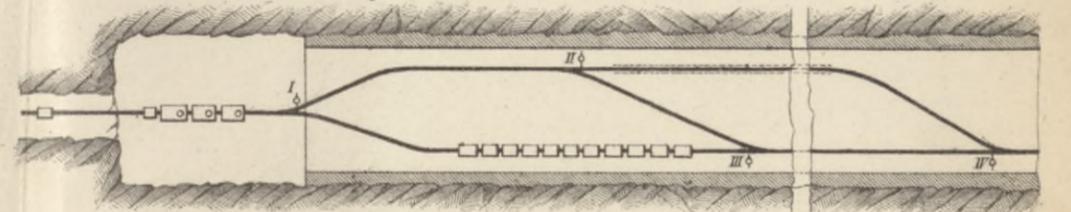


Fig. 16 u. 17. Förderwagen des Arlberg-Tunnels. M. 0.025 (1:40).

Fig. 16.

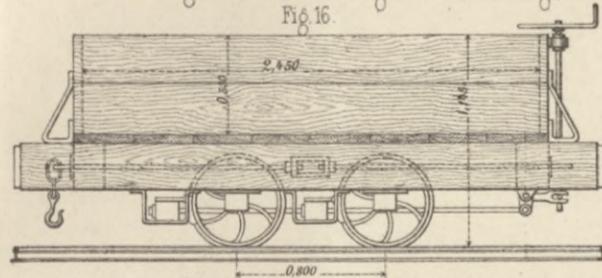


Fig. 17.

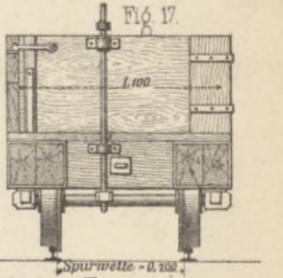


Fig. 18-20. Förderung der Sohlenstollenmassen im Marienthaler Tunnel.

Fig. 18. Grundriss des Sohlstollens. M. 1:100.

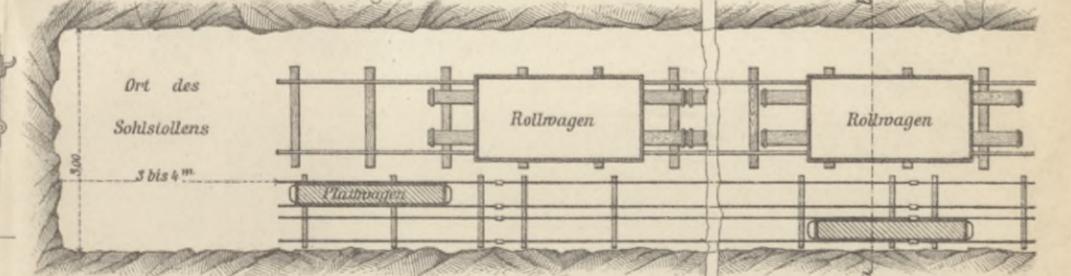


Fig. 19. Schnitt a b.

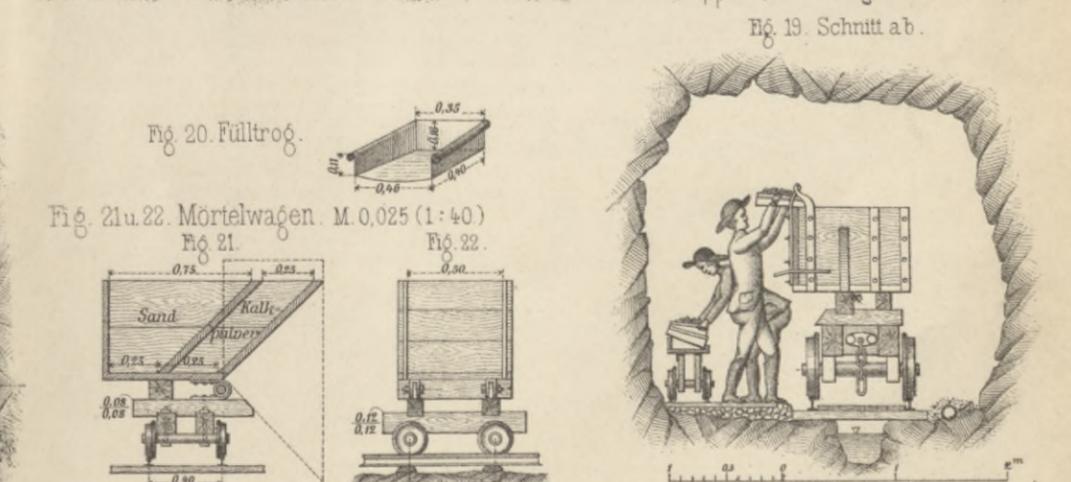


Fig. 20. Fülltrög.

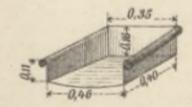


Fig. 21 u. 22. Mörtelwagen. M. 0.025 (1:40).

Fig. 21.

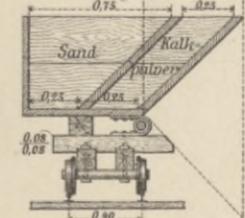
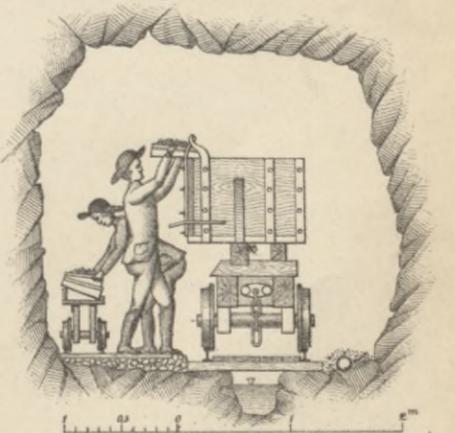
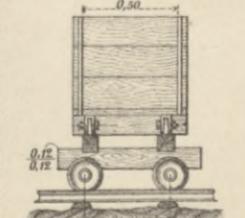


Fig. 22.



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

# Anlagen für Schachtförderung. Schacht- und Stollen-Zimmerung.

Fig. 1 u. 2. Der Schachtbetrieb des Spitzbergtunnel.  
M. 1: 200.

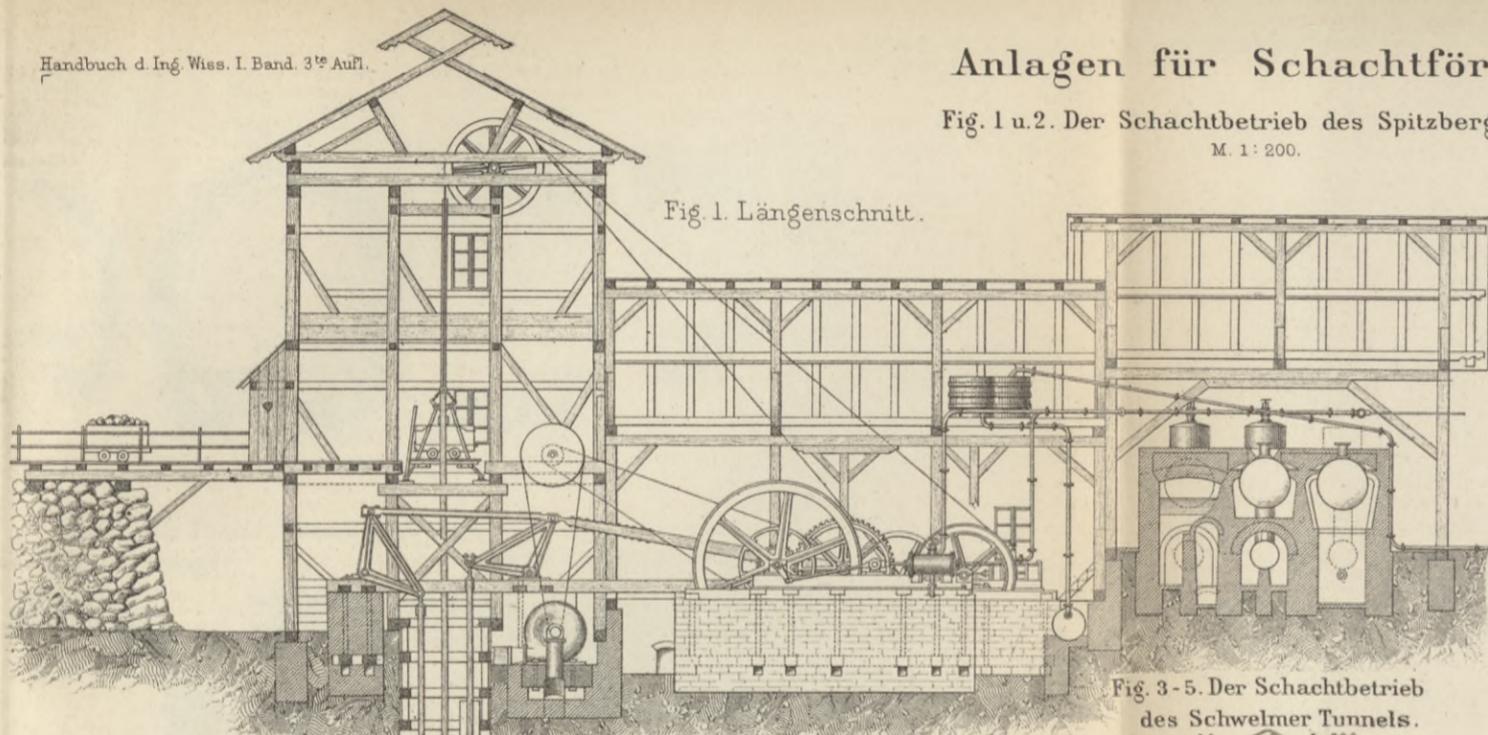


Fig. 2. Querschnitt durch das Maschinenhaus

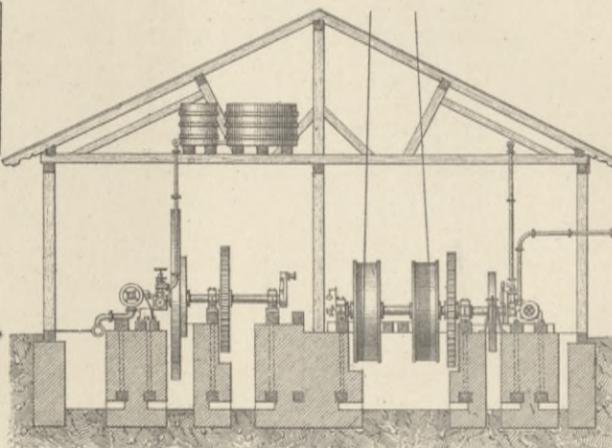


Fig. 7. Einfache Kappe.



Fig. 9 Querschnitt

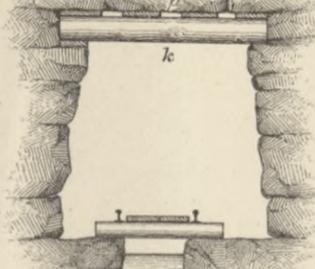


Fig. 10 Längenschnitt



Fig. 8. Einfache Kappe. (Grundriss.)  
M. 1: 100.

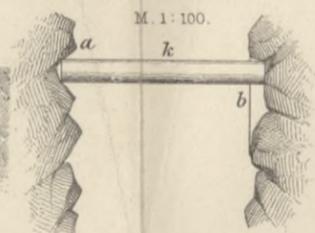
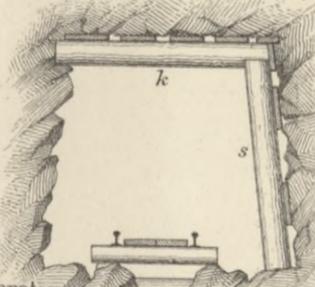


Fig. 11. Kappe mit einem Stempel.



M. 1: 100.

Fig. 12. Thürstock

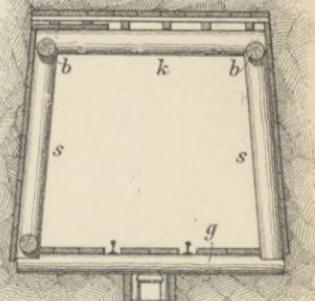


Fig. 3-5. Der Schachtbetrieb des Schwelmer Tunnels.  
M. 1: 200

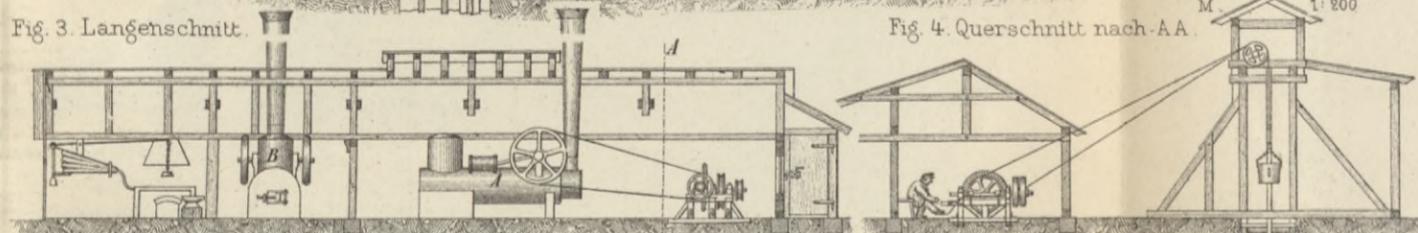


Fig. 5. Führungsrahmen.  
M. 1: 33.

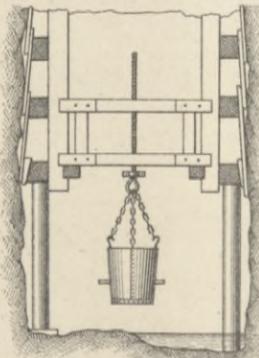


Fig. 6. Aufzug m. Fördergestellen.  
M. 1: 100.

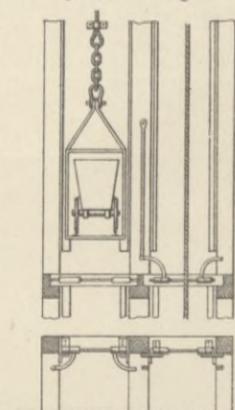


Fig. 23 u. 24. Schachtzimmerung: Bolzenschrotzimmerung.  
M. 1: 100.

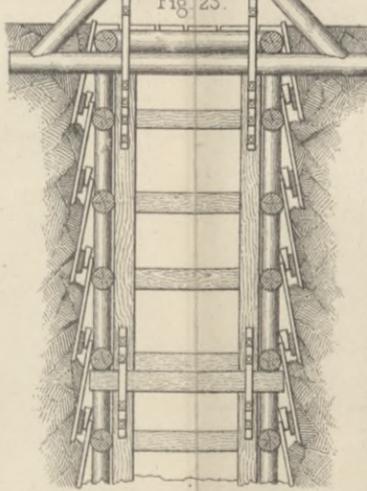


Fig. 24.

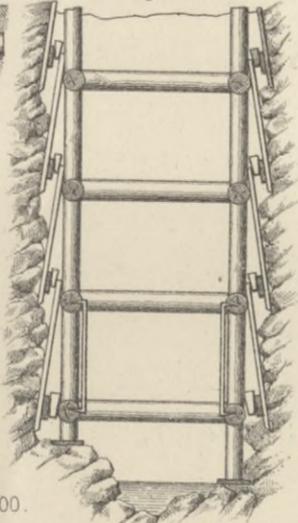


Fig. 25 u. 26. Schachtstuhl. (Höhenschnitte)  
Fig. 25. M. 1: 200. Fig. 26.

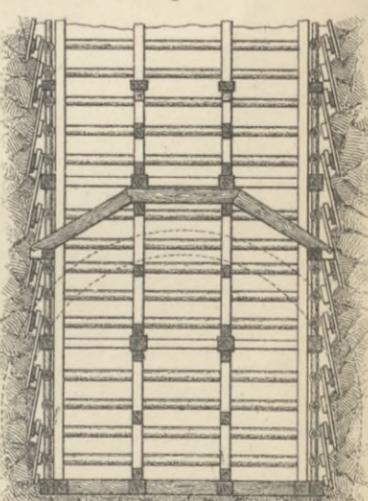
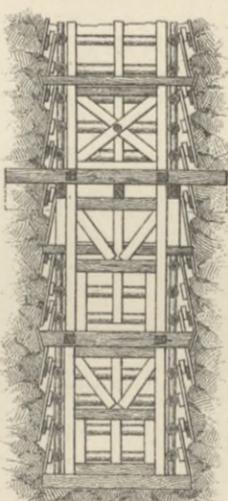


Fig. 13. Verpfählung u. Sprengbolzen.

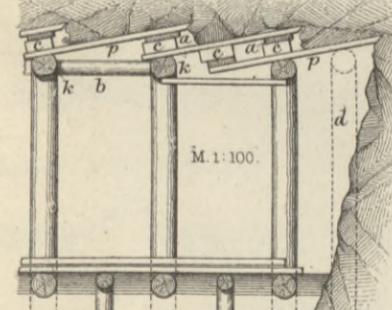


Fig. 14. Getriebezimmerung. M. 1: 100

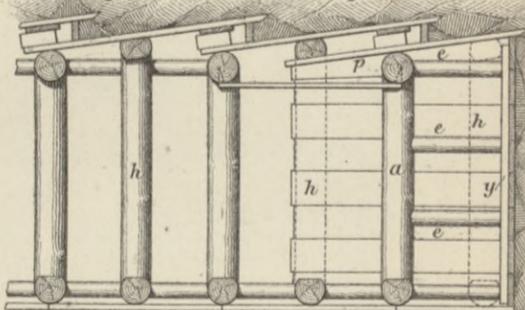


Fig. 17. Thürstock aus Bahnschienen beim Naenser Tunnel.  
M. 1: 100

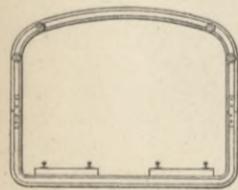


Fig. 18. Thürstock aus Bahnschienen beim Ender Tunnel.  
M. 1: 100.

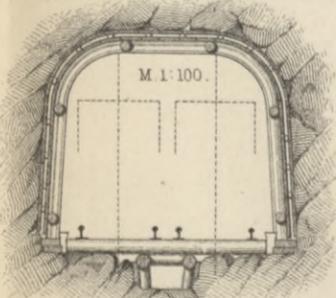


Fig. 19. Oesterreichische Zimmerung. M. 1: 200. (0,005)

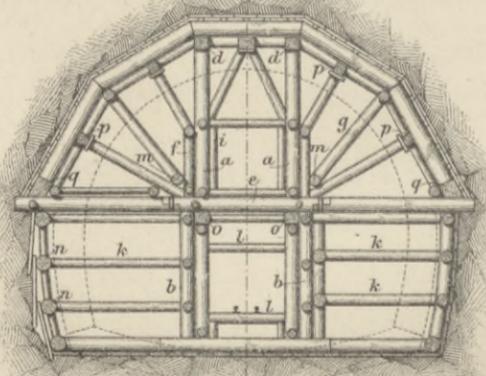


Fig. 20. Sparrenzimmerung. M. 1: 200.

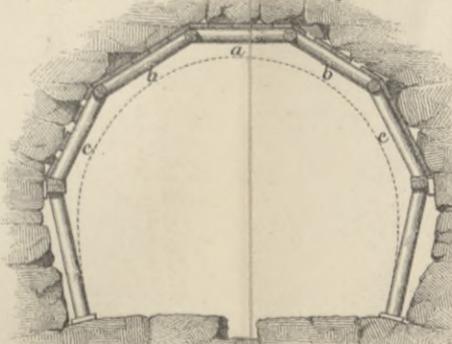


Fig. 21 u. 22. Grundrisse der Schacht-Zimmerung.

Fig. 21 in Fels. M. 1: 100.

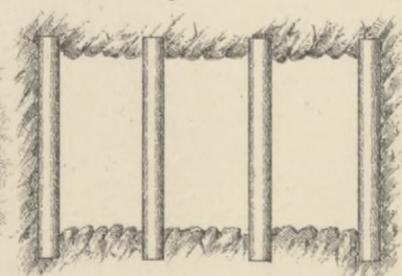


Fig. 22 in weichem Boden.

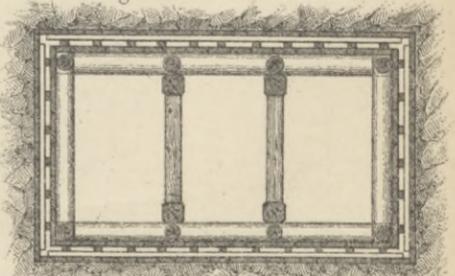


Fig. 15. Thürstock. M. 1: 100

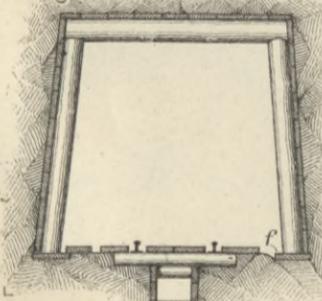


Fig. 16. Thürstock m. Kappe aus Bahnschienen.  
M. 1: 100.

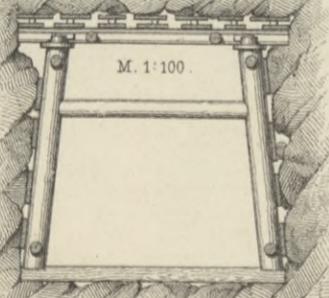


Fig. 14<sup>a</sup>. Grundriss.

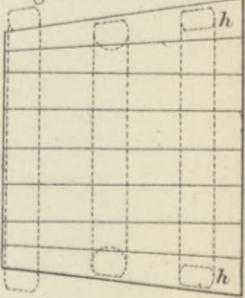


Fig. 5<sup>a</sup>. Führung

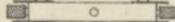


Fig. 6<sup>a</sup>. Grundriss



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

Fig. 1. Tunnel von Tronquoy. (1803).

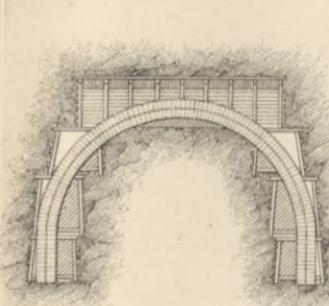


Fig. 2. Tunnel von Pouilly. (1824).

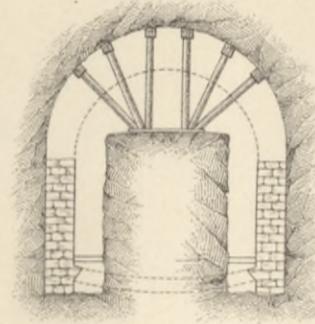


Fig. 1-15. Deutsche Bauweise.

Fig. 3 u. 4. Tunnel von Königsdorf. (1837).

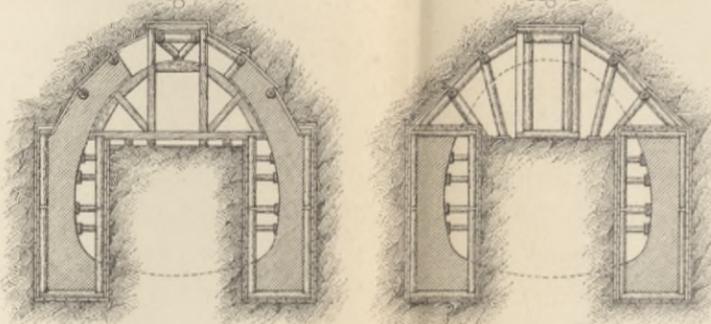


Fig. 5-8. Rosensteiner Tunnel.

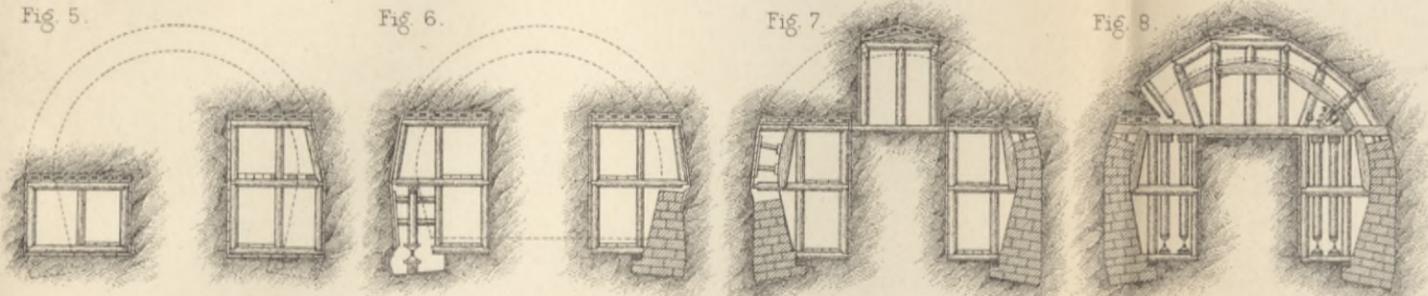


Fig. 9 u. 10. Triebitzer Tunnel. (1842/44).

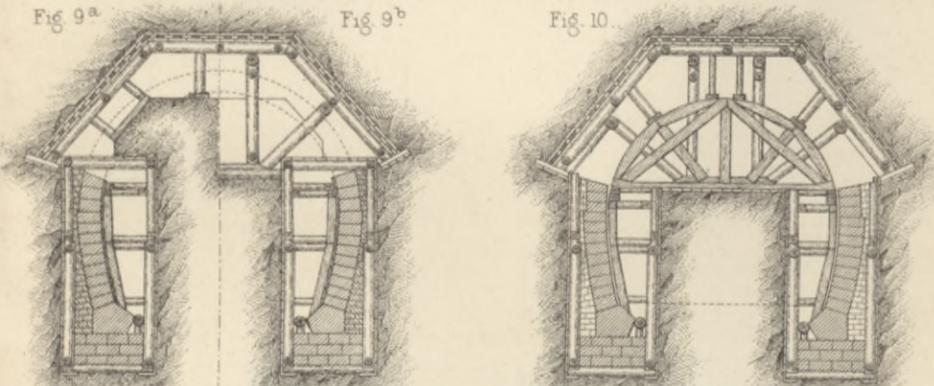


Fig. 12. Kalottenausbruch.

Fig. 12-14. Wolfsberg-u. Weberkogel-Tunnel. (1849/52).

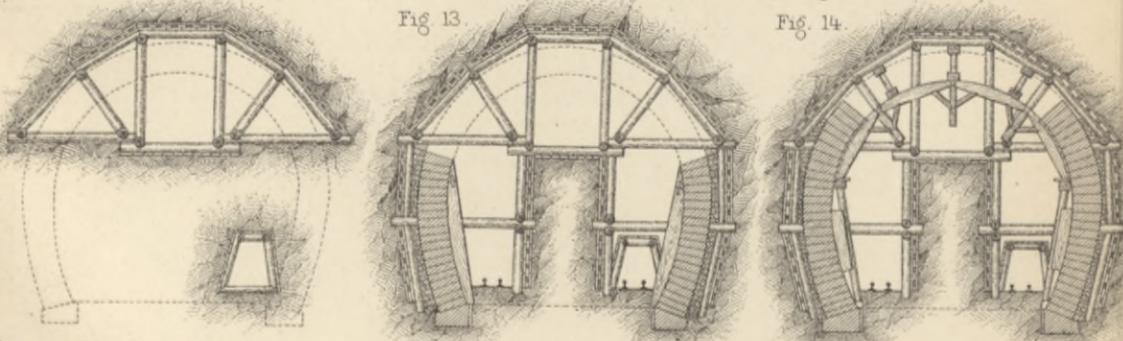


Fig. 11. Czernitzer Tunnel. (1854/58).

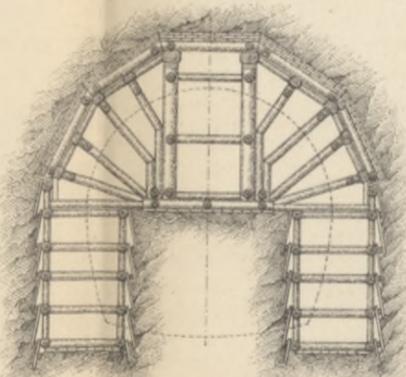


Fig. 15. Tunnel der Köln-Giessener Bahn. (1856/61).

Fig. 15<sup>a</sup> i. los. Gestein Fig. 15<sup>b</sup> i. fest Gestein

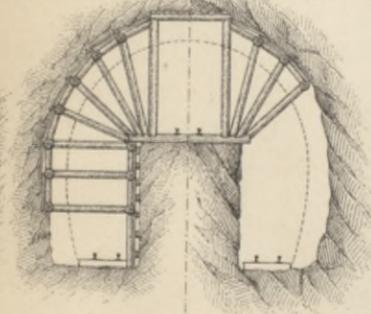


Fig. 32. Hönbacher Tunnel. mit Sohlenstollenbetrieb.

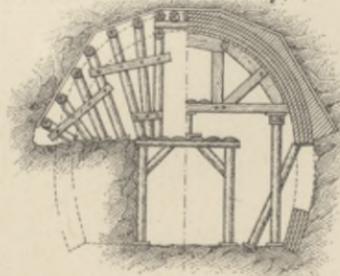


Fig. 33. Tunnel v. St. Cloud. (1838).

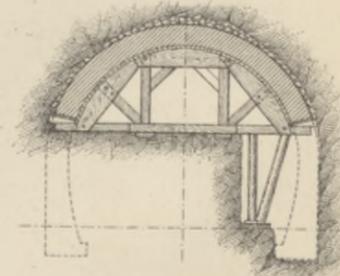


Fig. 34-37. Church-Hill-Tunnel. (1876).

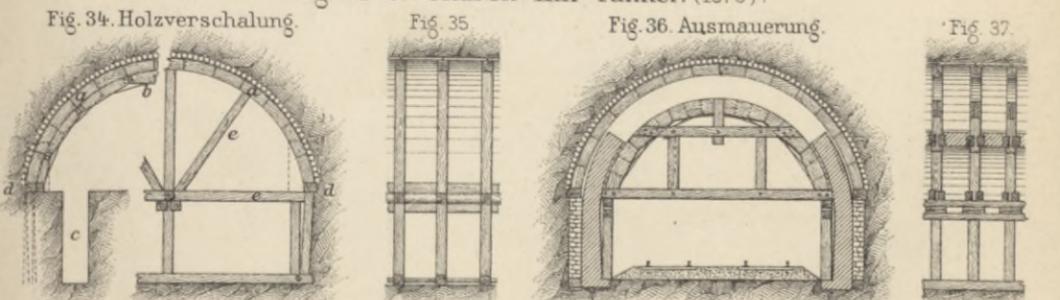


Fig. 16-37. Belgische Bauweise.

Fig. 16-21. Roosebecker Tunnel. (1838).

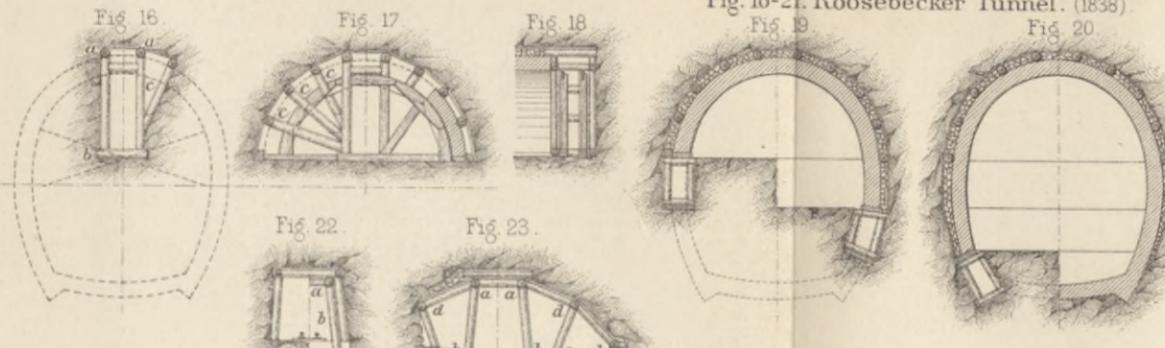


Fig. 22-27. Tesch-Tunnel. (1877/78).



Fig. 28-31. Gotthard-Tunnel. (1872-1882).

Fig. 30. Längenschnitt.

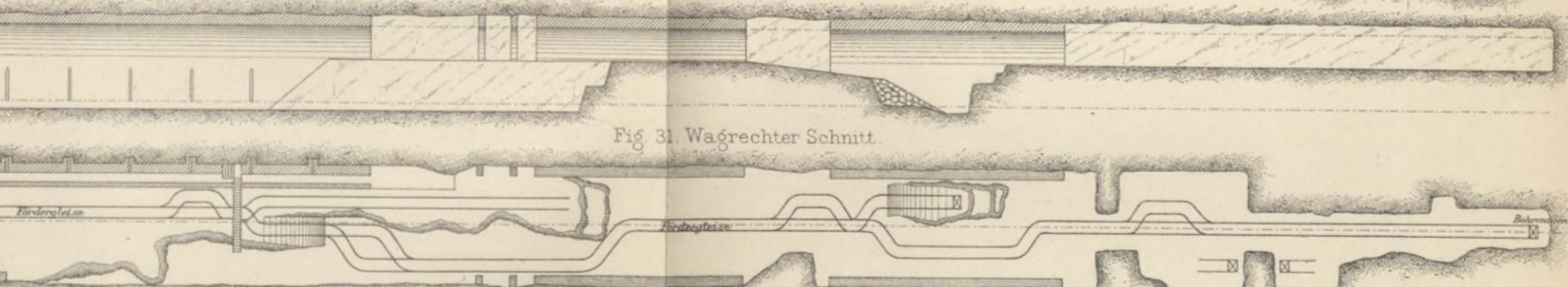
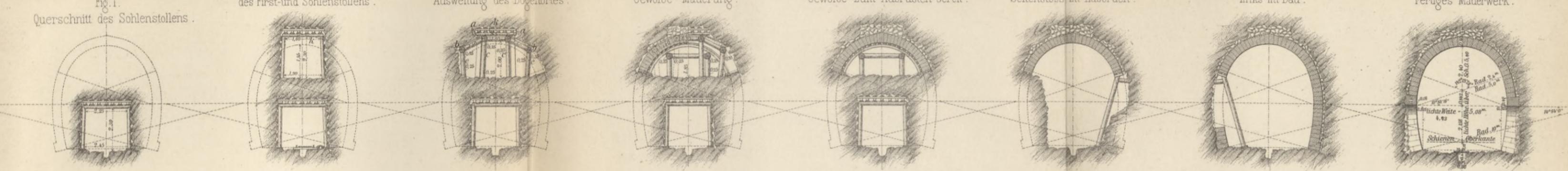


Fig. 31. Waagrechter Schnitt.



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

Fig. 1-9. Bau-Vorgang.



Firststollen

Bogenausweitung

Gewölbe begonnen

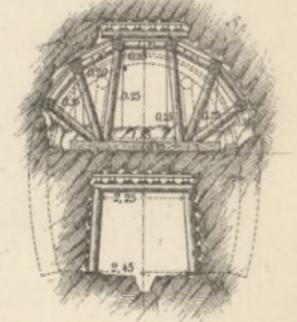
Gewölbe zum Ausrüsten bereit

Fertiges Gewölbe Seitenstoss im Ausbruch

Widerlager begonnen

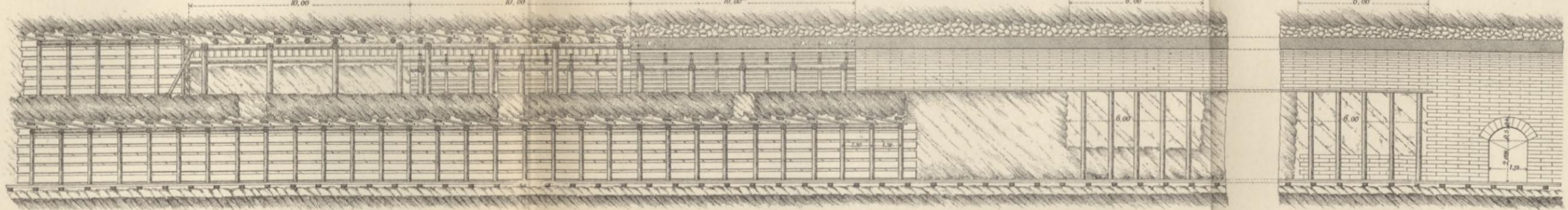
Fertiges Mauerwerk

Fig. 10. Ausweitung des Bogenortes in weniger standfähigem Gebirge. (Zum Einbringen des Lehrbogens bereit).



M. 1:200.

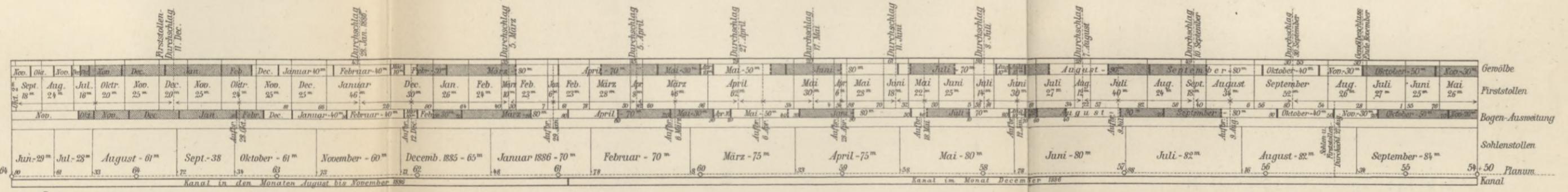
Fig. 9. Längenschnitt. Maßstab 0,005 (1:200).



M. 1:200.

Fig. 11 u. 12. Arbeitsplan. Fig. 11. Längenschnitt.

Höhen 0,004 (1:250). Längen (Fig. 11 u. 12) 1:3000.



M. 1:3000.

Fig. 12. Grundriss. Breiten 0,004 (1:250).



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

# Tunnelbauweisen. Die englische und oesterreichische Bauweise.

## Fig. 1-20. Englische Bauweise.

Maafstab der Figuren 1:250.

## Fig. 21-40. Oesterreichische Bauweise.

Fig. 1-7. Blechingley Tunnel. (1840-1842).  
Fig. 1. Firstausbruch. Fig. 3. Längenschnitt.

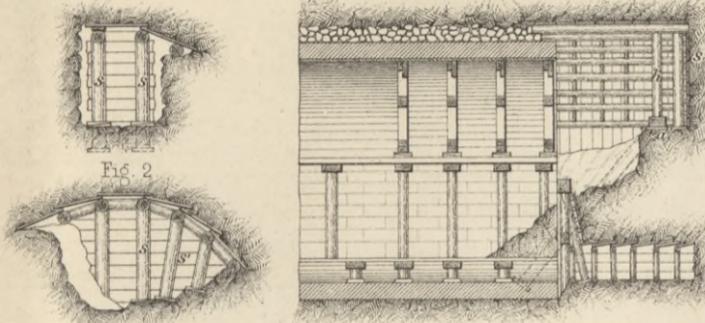


Fig. 4. Längenschnitt.

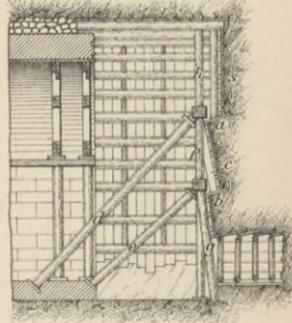


Fig. 5 u. 6. Vollaushub mit Brustverzug.  
Fig. 5. Querschnitt. Fig. 6. Ausmauerung.

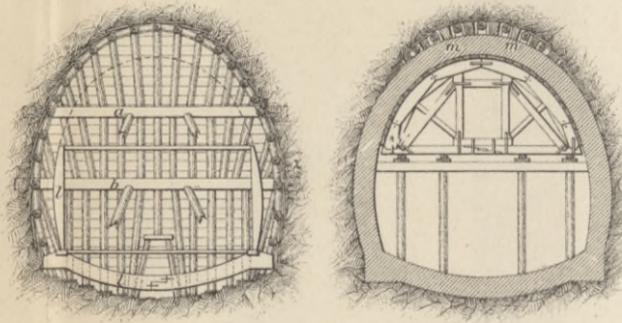


Fig. 21.  
Erweiterung des  
Sohlenstollens.

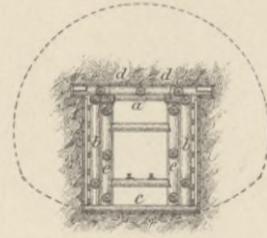


Fig. 22. Firstenschlitz.

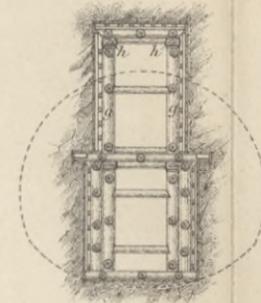


Fig. 23. Erweiterung.

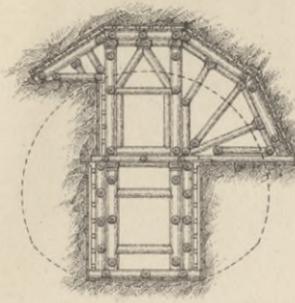


Fig. 24. Vollaushub.

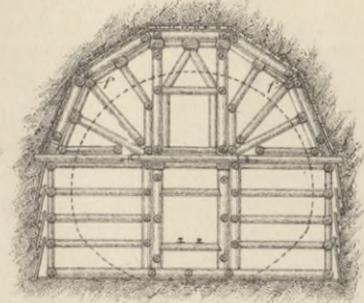


Fig. 25. Beginn der Mauerung

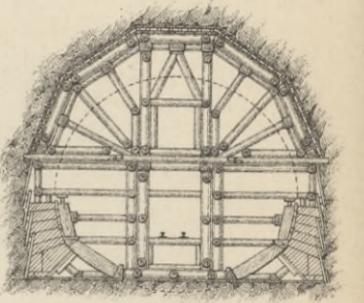


Fig. 7. Aufbruch  
u. Firststollen-Vortrieb.  
(Längenschnitt)

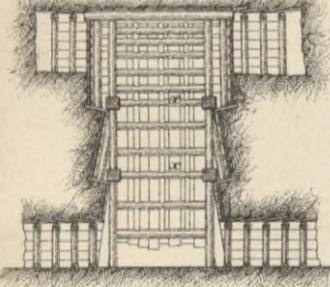


Fig. 8. Abbau  
des oberen Profilteils.

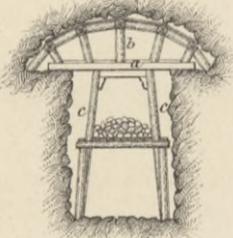


Fig. 8-15. Hauenstein-Tunnel. (1853-1857).

Fig. 9. Vollaushub.

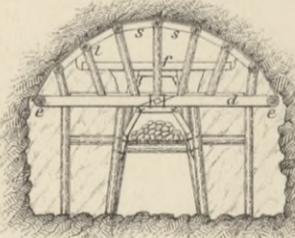


Fig. 10. Längenschnitt.

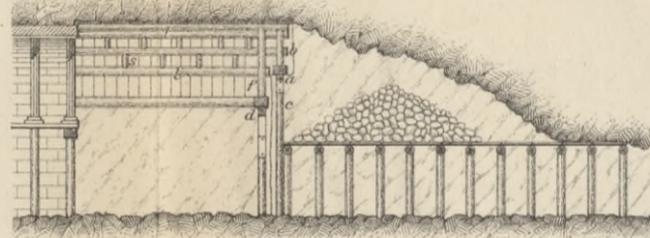


Fig. 26. Ausmauerung.

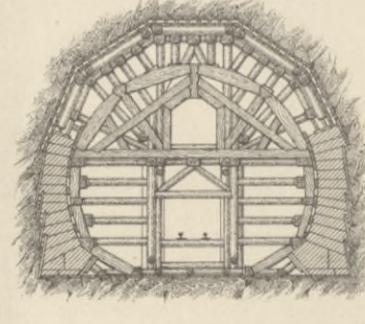


Fig. 27. Ausmauerung.

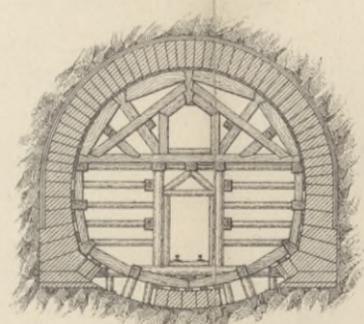


Fig. 21-28. Czernitzer Tunnel. (1854-58).

Fig. 28. Längenschnitt.

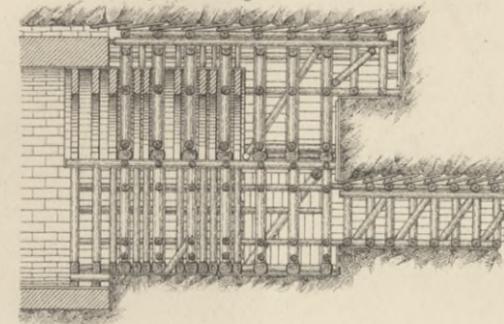


Fig. 29. Tunnel  
bei Mülhausen.

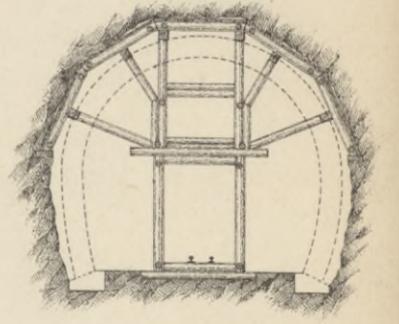


Fig. 11 u. 12. Aufbruch.

Fig. 11.  
Querschnitt.



Fig. 12. Längenschnitt.

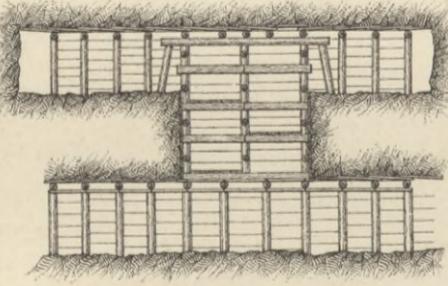


Fig. 13. Beginn der  
Ausmauerung.

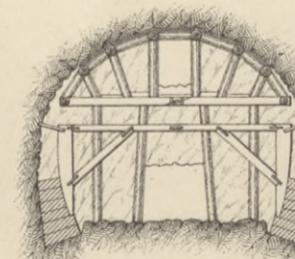


Fig. 14. Ausmauerung  
des Gewölbes.

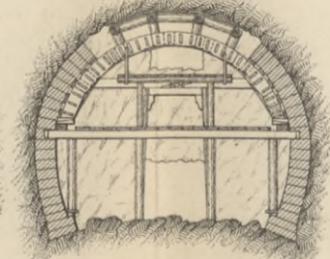


Fig. 15. Längenschnitt.

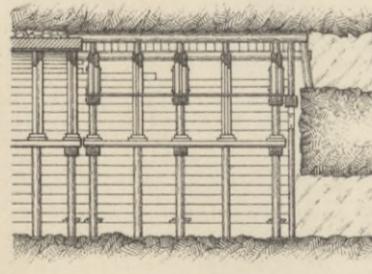


Fig. 30.  
Kappeneinbau.

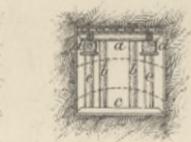


Fig. 32. Einbau des oberen  
Gespartheils.

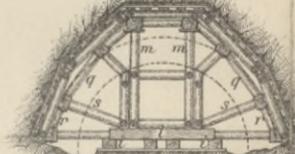


Fig. 30-36. Homberger Tunnel. (1872).

Fig. 34. Vollaushub.

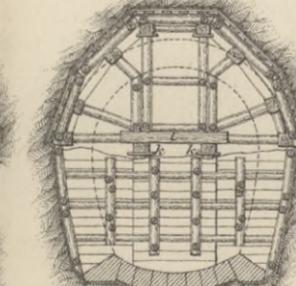


Fig. 35. Ausmauerung.

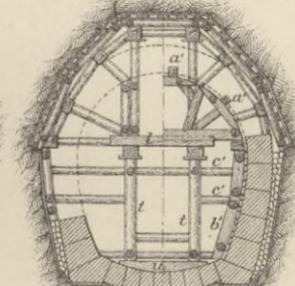


Fig. 36. Längenschnitt.

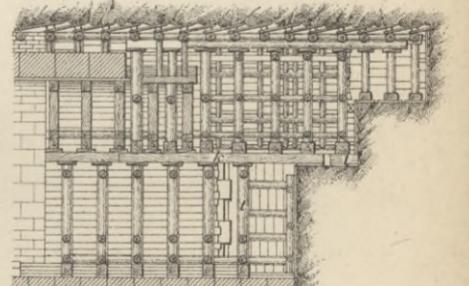


Fig. 16. Ausbruch des  
oberen Profilteiles  
u. Sohlenstollen.

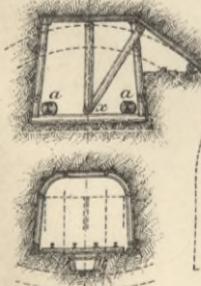


Fig. 17. Schnitt A-B.

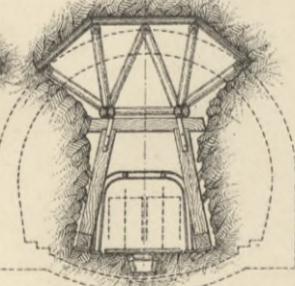


Fig. 16-20. Ender Tunnel. (1876-1878). Bauart Merme.

Fig. 18. Vollaushub.

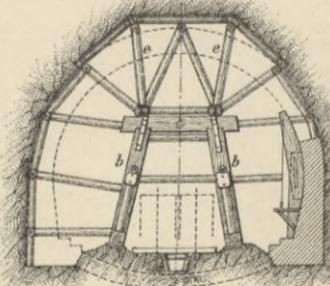


Fig. 19. Ausmauerung.

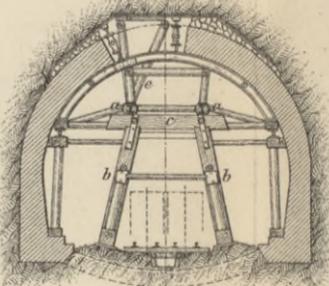


Fig. 20. Längenschnitt.

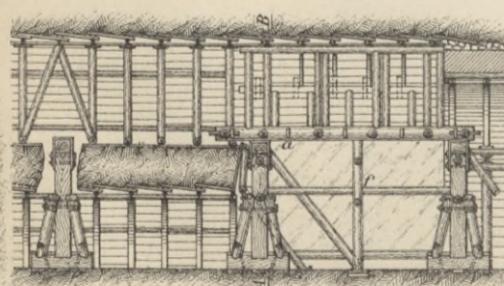


Fig. 31. Erweiterung.

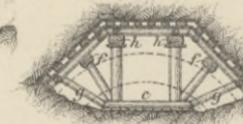


Fig. 33. Grundriss  
des Brustverzuges

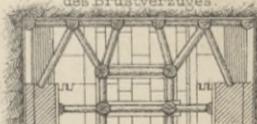


Fig. 37. Abbau  
d. oberen Profilteiles  
u. Sohlenstollen.

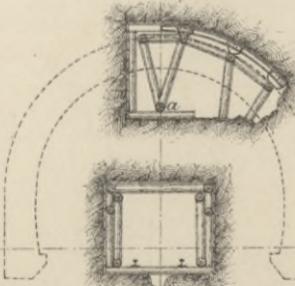


Fig. 38. Erweiterung.

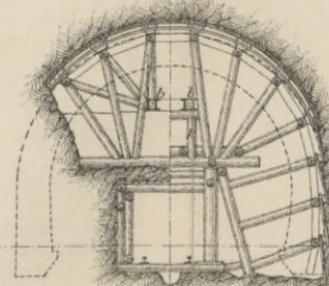


Fig. 37-40. Kaiser-Wilhelm-Tunnel bei Cochem. (1874-1877).

Fig. 39. Ausmauerung.

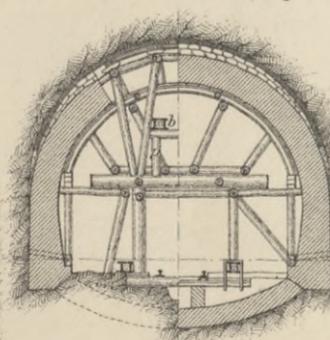
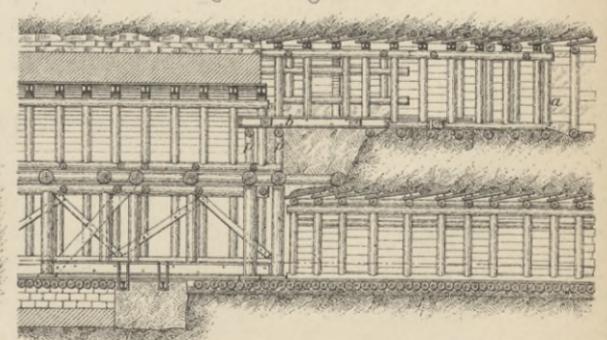


Fig. 40. Längenschnitt.



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

Fig. 1. Eisenrüstung ohne Sohlengewölbe mit Mauerung. M. 1:125.

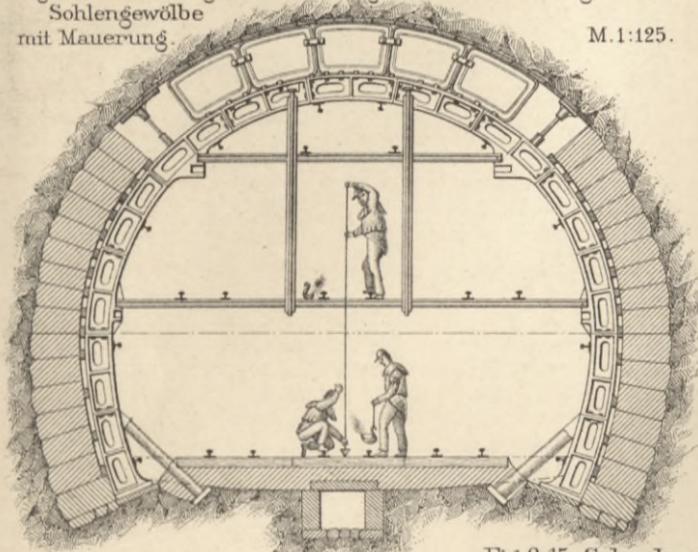


Fig. 1-8. Eisenrüstung nach Rziha. Naenser Tunnel. (1861-64)

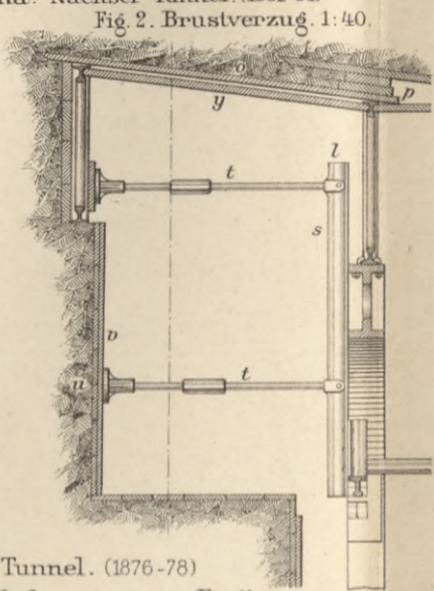


Fig. 3. Vorgang bei der Mauerung. 1:40.

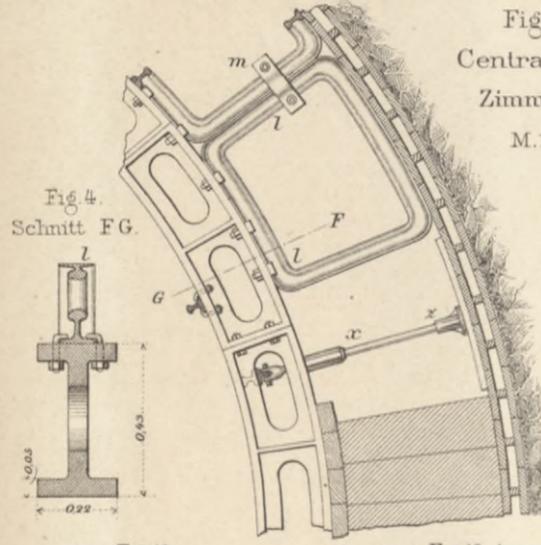


Fig. 6. Eisenrüstung bei Sohlengewölbe und Mauerung. 1:125.

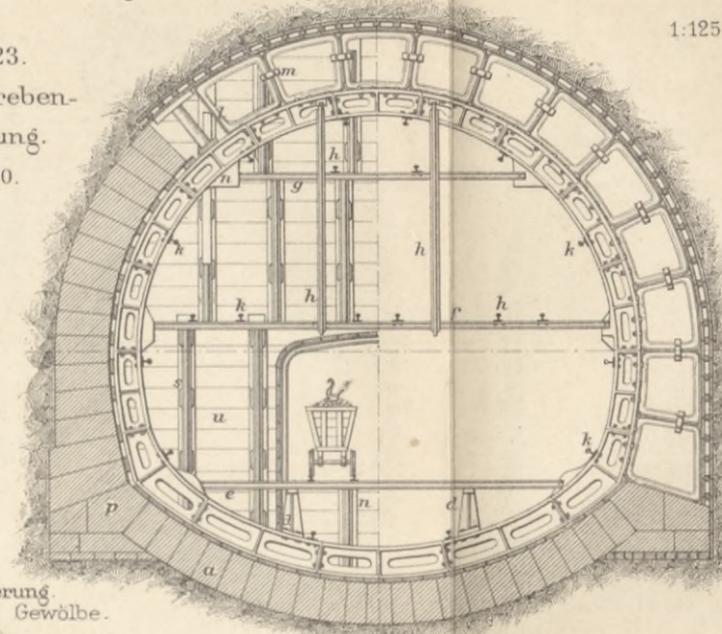


Fig. 9-23. Centralstreben-Zimmerung. M. 1:250.

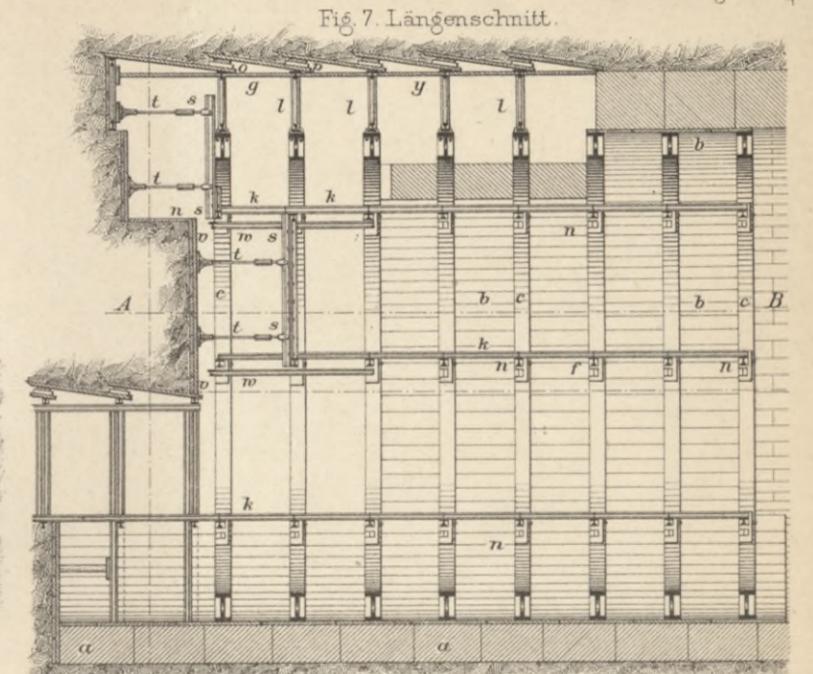


Fig. 7. Längenschnitt.

Fig. 9. First- u. Sohlenstollen. Schnitt AB. Schnitt C.D.

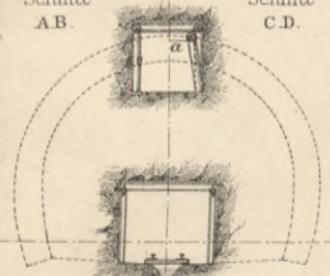


Fig. 10. Ausbruch des oberen Profiltals. Schnitt EF.

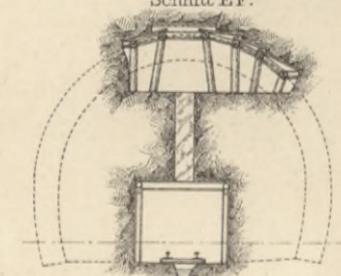


Fig. 11. Erweiterung. Schnitt GH. Vollausbruch. Schnitt LM.

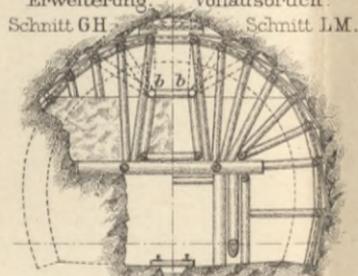


Fig. 12. Schnitt nach LM.

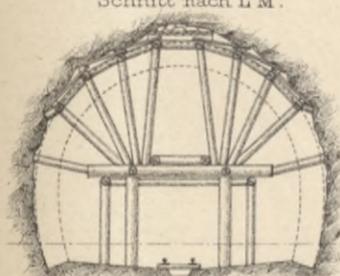


Fig. 13. Ausmauerung. Widerlager. Gewölbe.

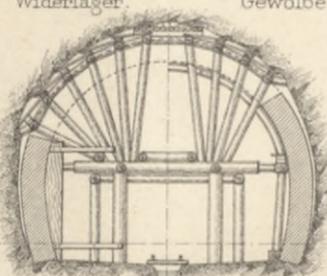


Fig. 5. Lüftungsbogenstück. M. 1:40.

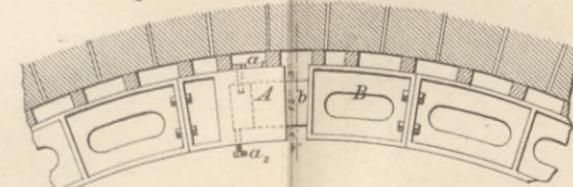


Fig. 8. Grundriss in der Höhenlage AB.

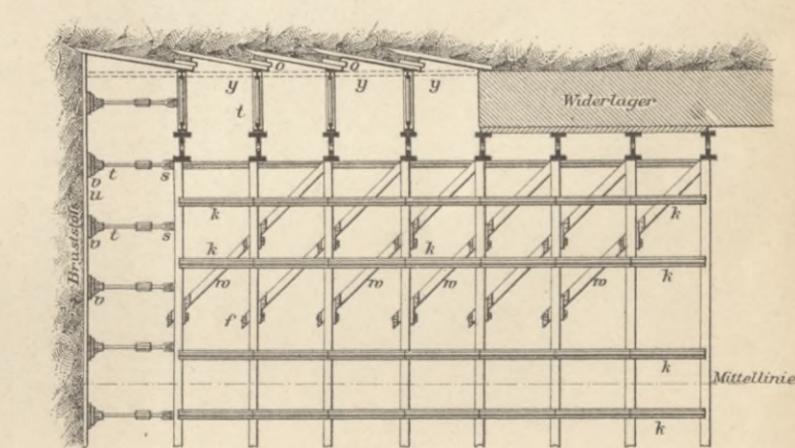


Fig. 14. Ausmauerung. Schnitt NO.

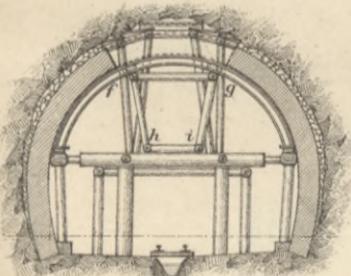


Fig. 15. Längenschnitt.

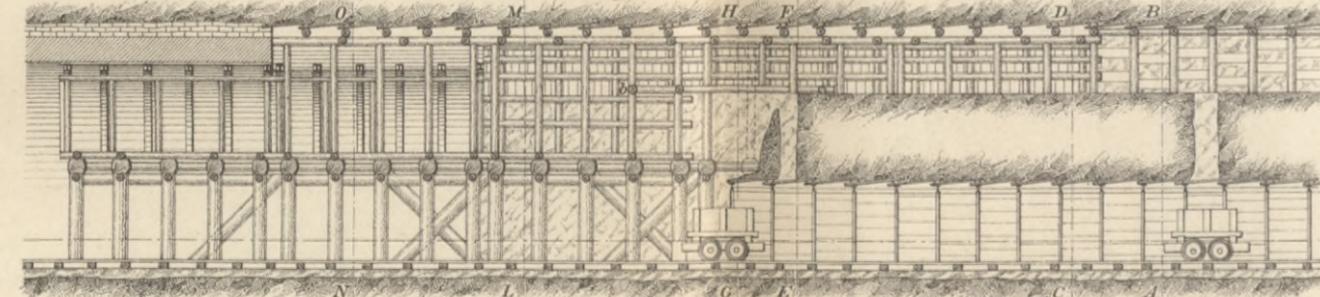


Fig. 16. Schnitt nach CD.

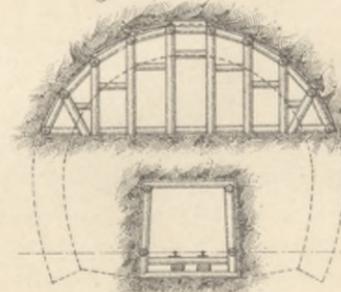


Fig. 17. End-Gespärre. Schnitt nach AB.

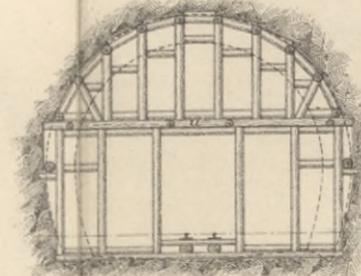


Fig. 16-20. Tunnel bei Hagenacker. (1867-68)

Fig. 21-23. Christina Tunnel.

Fig. 18. Ausmauerung. Schnitt EF.

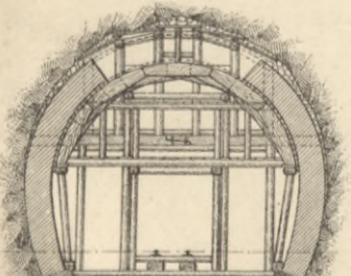


Fig. 19. Längenschnitt.

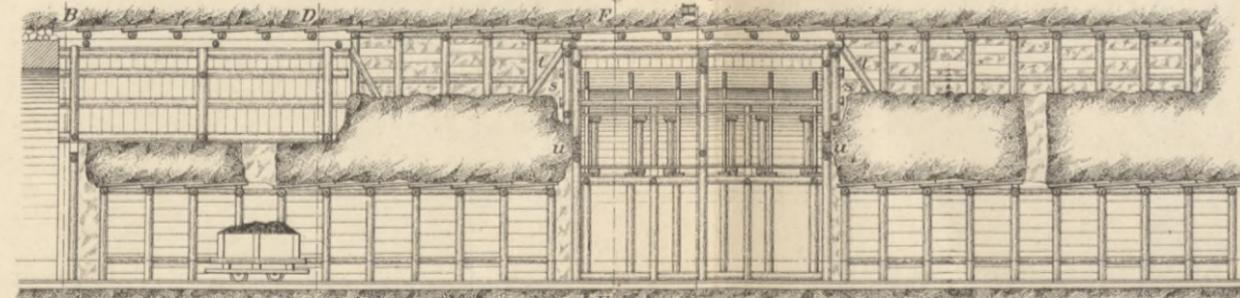


Fig. 20. Mittel Gespärre. Schnitt nach GH.

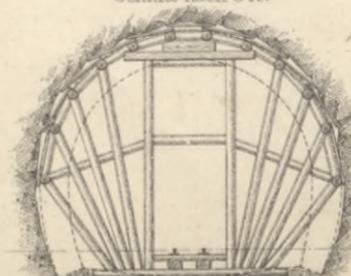


Fig. 21. Schnitt nach AB

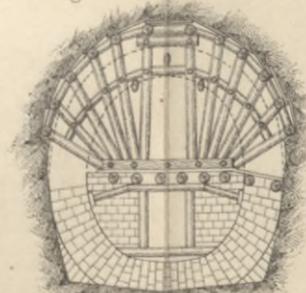


Fig. 22. Längenschnitt.

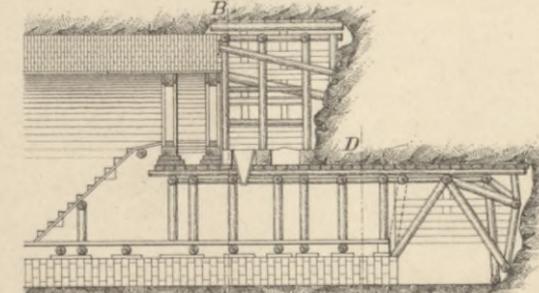
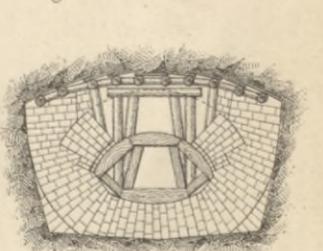


Fig. 23. Schnitt nach CD.



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

Fig. 1. Tunnel-Ausführung in wasserreichem Erdreich für die Wiener-Tunnelbahn, entworfen von Professor Winkler.

Fig. 2-4. Eiserner Tunnel in der Sohle des Donau-Kanals in Wien nach dem Entwurf von Professor Winkler.

Fig. 9. Severn-Tunnel.

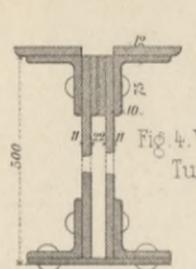
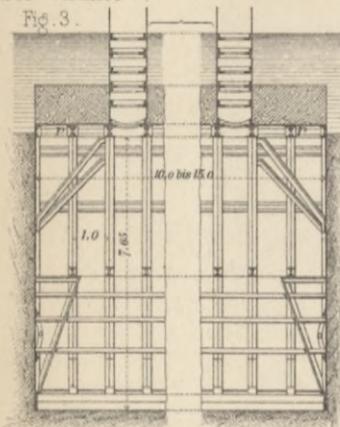
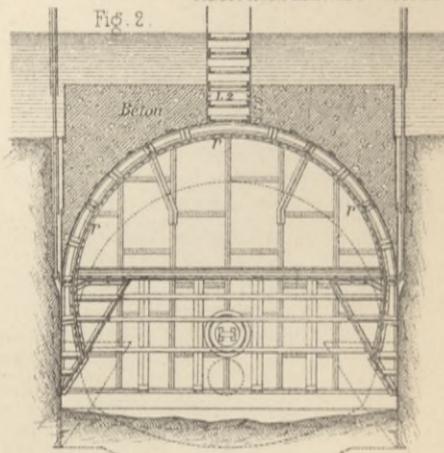
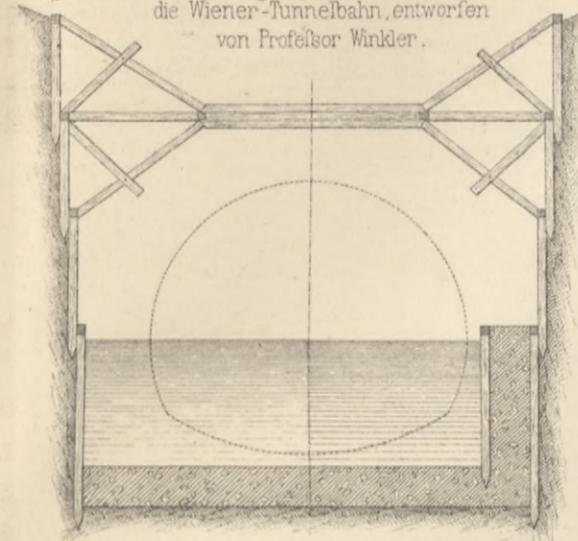
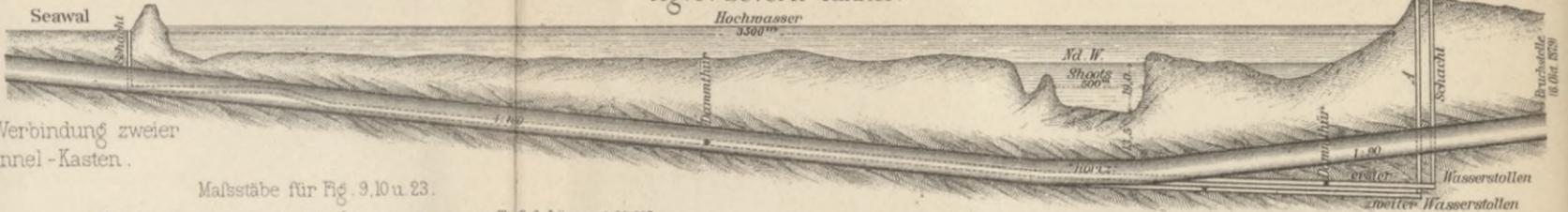


Fig. 4. Verbindung zweier Tunnel-Kasten.



Maßstäbe für Fig. 9, 10 u. 23.  
100 200 300 400 500 600 700 800 900 1000 m f. d. Längen 1:20 000  
10 20 30 40 50 60 70 80 90 100 m f. d. Höhen 1:2 000

Fig. 5-8. Der zweite Themse-Tunnel von Barlow.

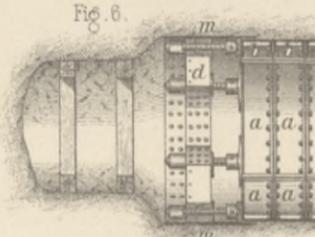
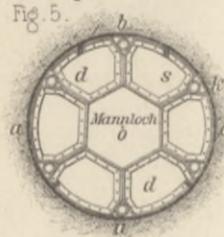


Fig. 1-3 M. 1:200.

Fig. 11-24. Eisenbahntunnel unter dem Hudson. Fig. 14. Schnitt AB.

Fig. 11. M. 1:680.  
Fig. 12-23. M. 1:240.

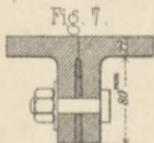
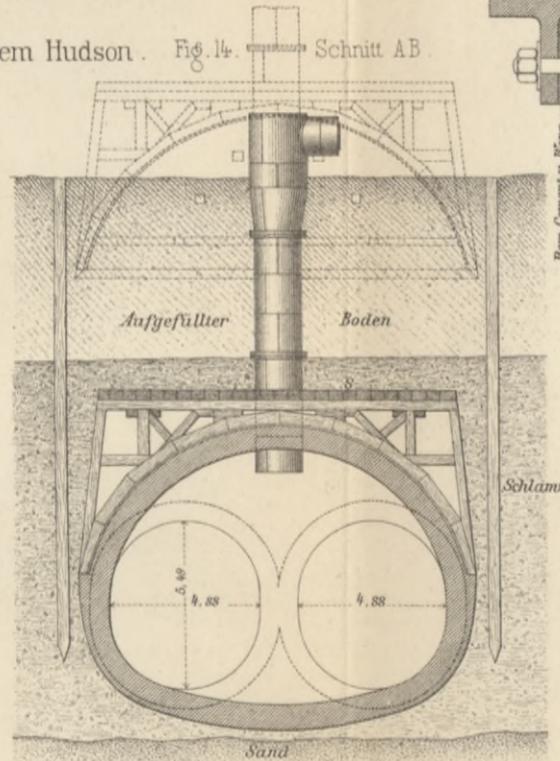
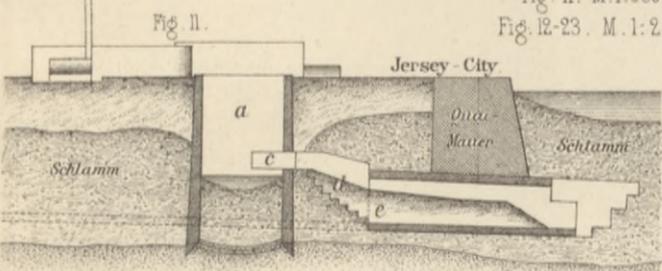


Fig. 15. Schnitt C D.

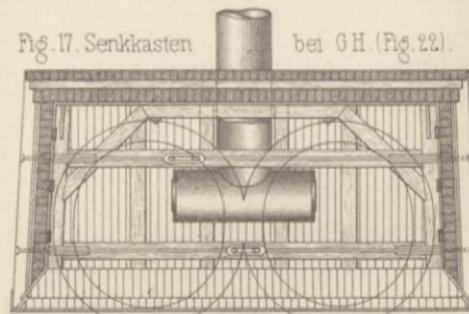
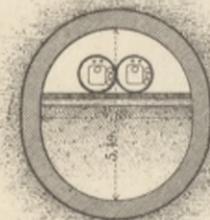


Fig. 17. Senkkasten bei GH (Fig. 22).

Fig. 16. Schnitt E F.

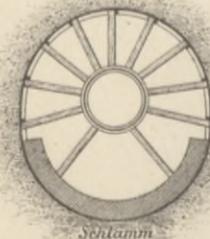


Fig. 18. Schnitt L M. Schnitt N O.

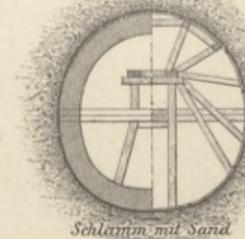


Fig. 20. Schnitt J K.

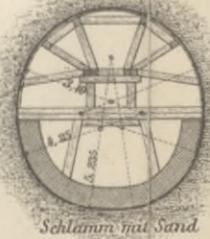


Fig. 24. Schlamm-pumpe.

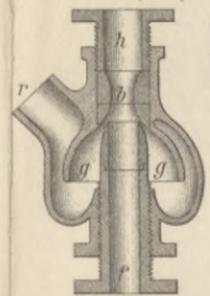


Fig. 23 Längenschnitt des Hudson-Tunnels. Jersey-City New-York

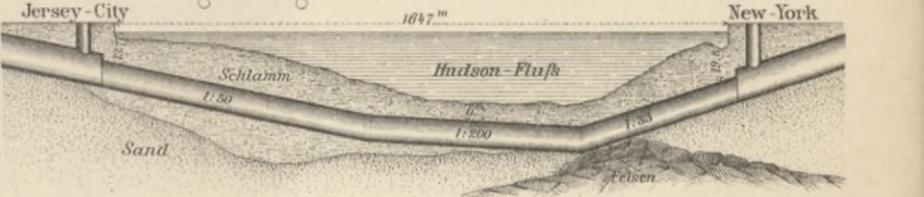
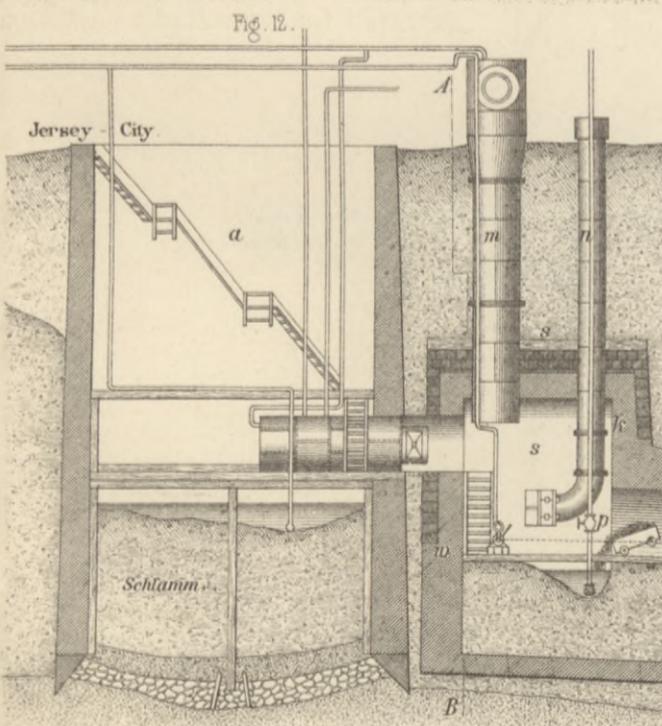
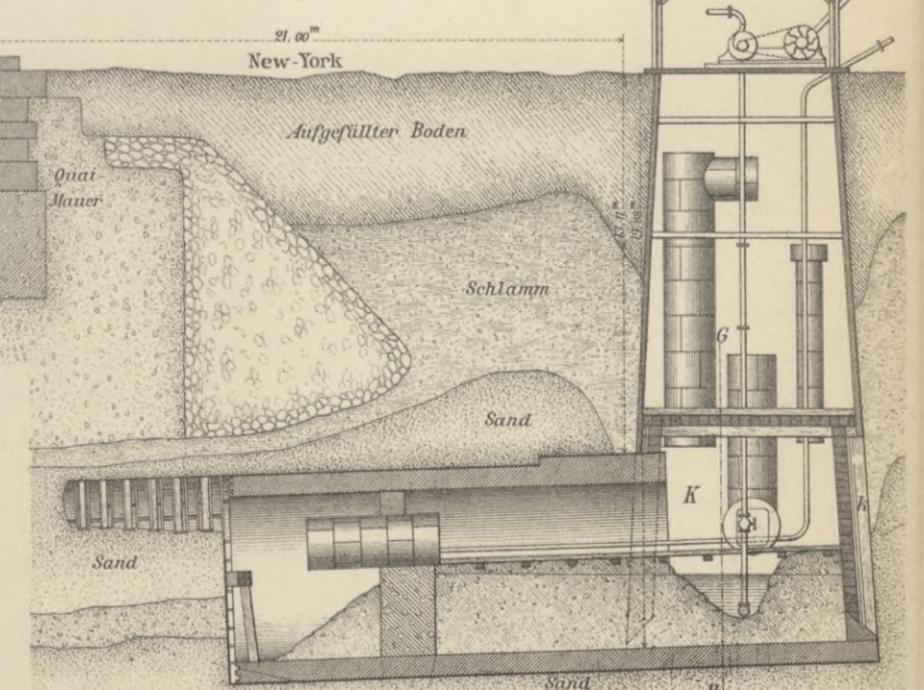


Fig. 22.



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

Fig. 1. Oesterreichischer Lehrbogen.

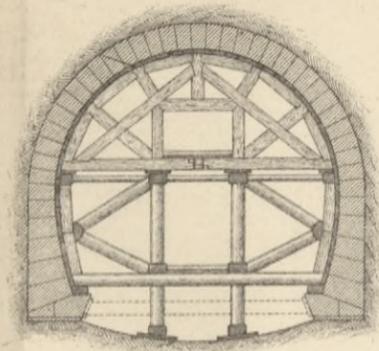


Fig. 1-4. Lehrbögen.

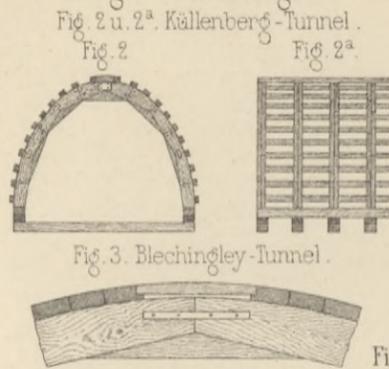
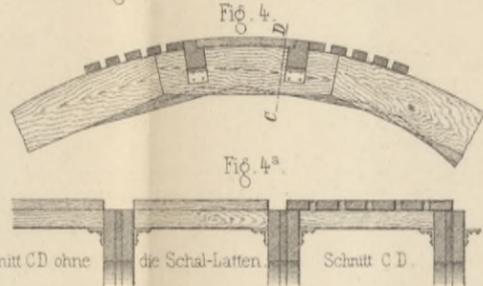


Fig. 3. Blechingley-Tunnel.



Fig. 4 u. 4a. Hauenstein-Tunnel.



Schnitt CD ohne die Schal-Latten. Schnitt CD.

Fig. 5-15. Zweigleisige Tunnelquerschnitte.

Fig. 5. Deutscher Tunnelquerschnitt (nach Rzaha)

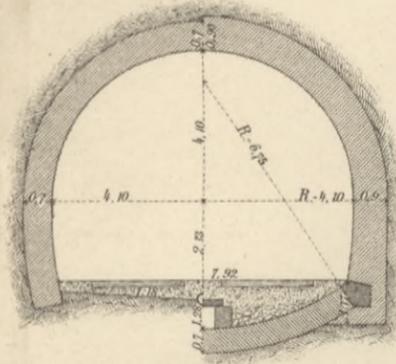


Fig. 8. Blechingley-Tunnel.

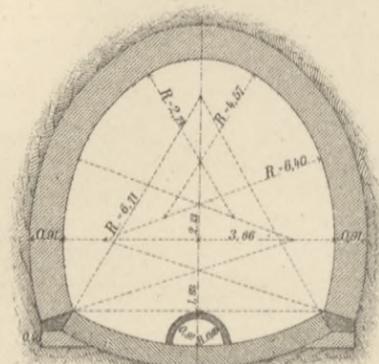


Fig. 11. Cochemer-Tunnel.

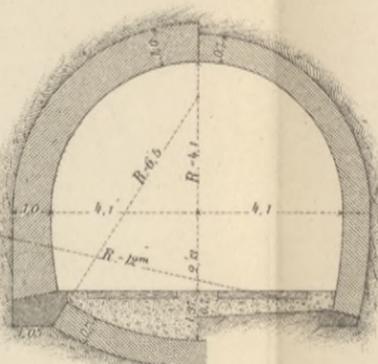


Fig. 12. St. Louis-Tunnel. (Marseille-Avignon)

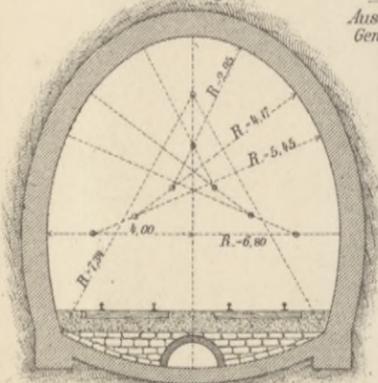


Fig. 18. Einleisiger deutscher Tunnelquerschnitt (nach Rzaha).

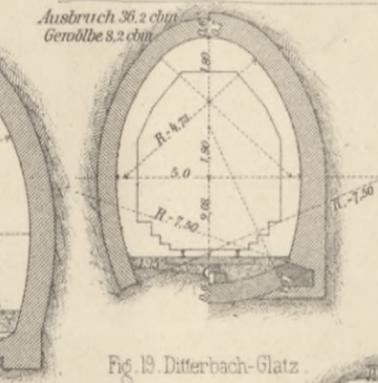


Fig. 23. Redern-Tunnel bei Rüdersdorf.

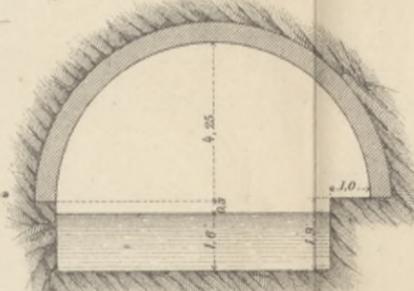


Fig. 24. Kanal von St. Quentin. Tunnel bei Riqueval.

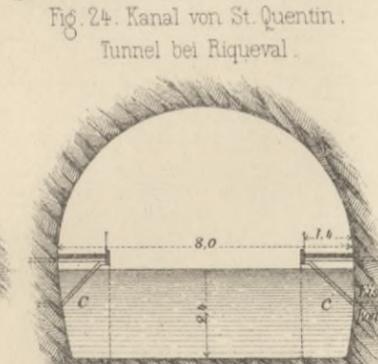


Fig. 6 u. 7 Querschnitte der Rheinischen Eisenbahn.

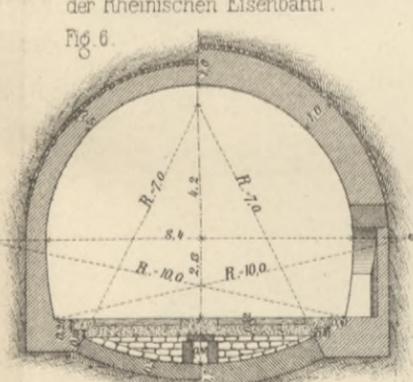


Fig. 9 u. 10. Gotthard-Tunnel.

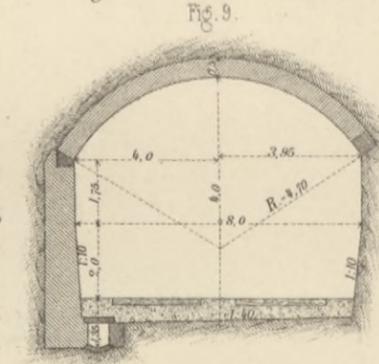


Fig. 13 Querschnitt der Gotthardbahn.

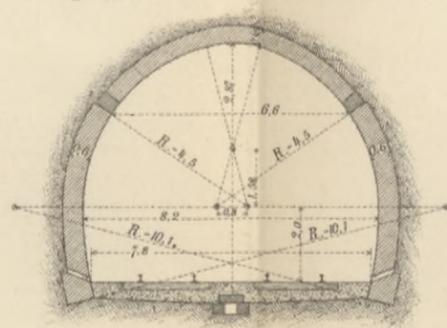


Fig. 14. Preussischer Tunnelquerschnitt.

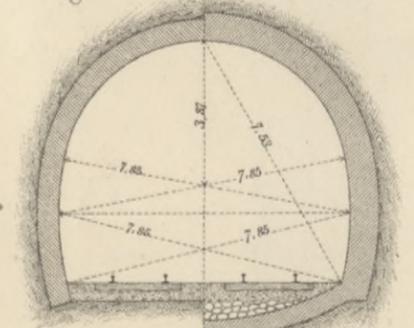


Fig. 7.

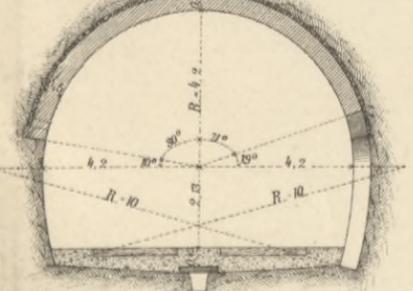


Fig. 10.

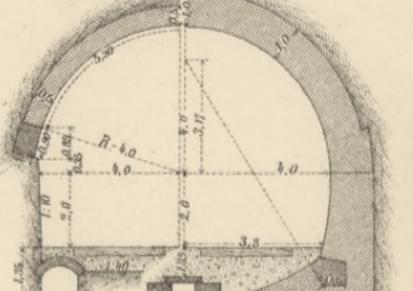


Fig. 15. Jppenser-Tunnel.

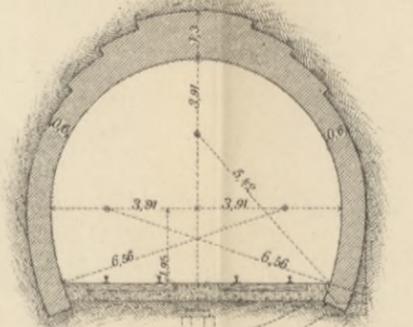


Fig. 21. Severn-Tunnel.

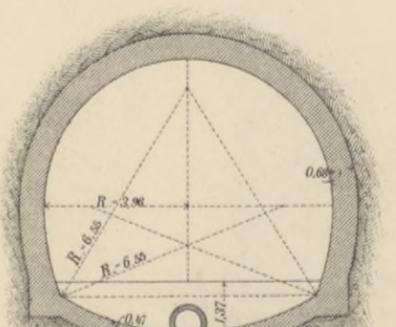


Fig. 19. Ditterbach-Glatz.

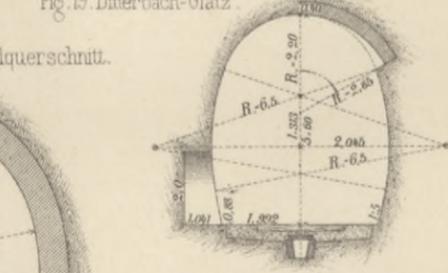
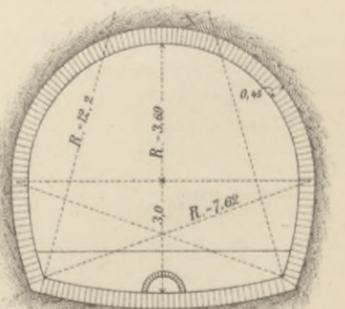
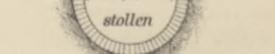


Fig. 22. Mersey-Tunnel.



Wasser-stollen



Entwässerungsrohr für den Bau

Fig. 16-19. Einleisige Tunnelquerschnitte.

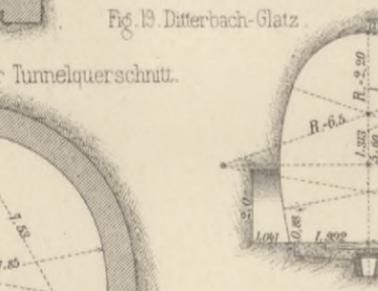


Fig. 16 u. 17 Entwürfe für den einleisigen Schee-Tunnel bei Barmen. (Rheinische Eisenbahn).

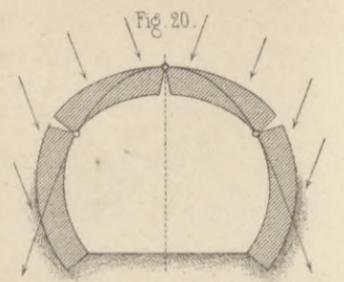
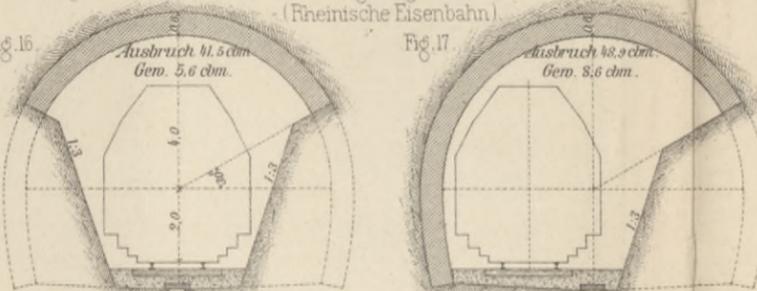


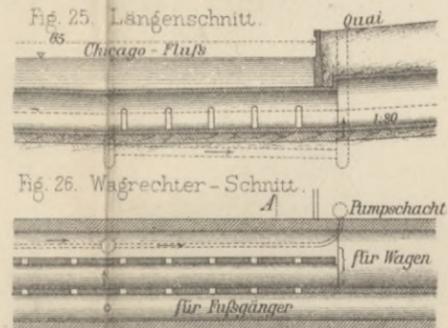
Fig. 23, 24, 28.

Querschnitte von Kanal-Tunneln.

Fig. 24. Kanal von St. Quentin. Tunnel bei Riqueval.

Fig. 21, 22, 27, 29, 30.

Querschnitte von Unter-Wasser-Tunneln.



M. zu Fig. 25 u. 26 - 1:1000. B. zu Fig. 27, 29, 30 - 1:200.

Fig. 29. Brunel's Themse-Tunnel.

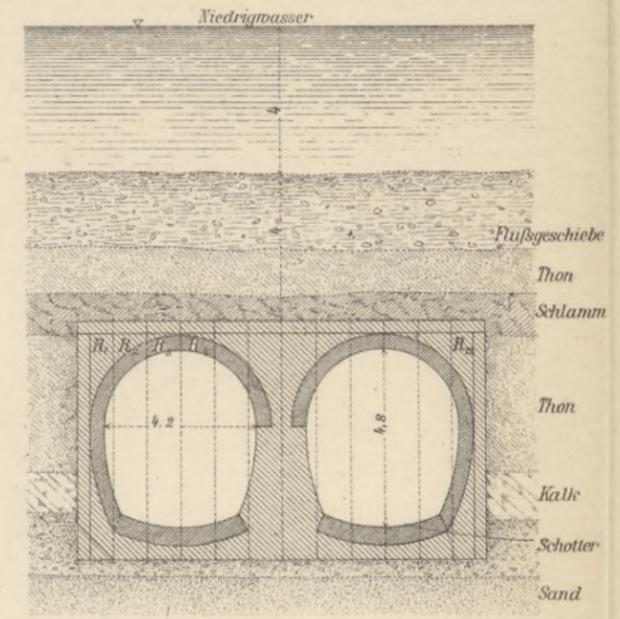


Fig. 25-27. Washington-Street-Tunnel.

Fig. 27. Schnitt AB.

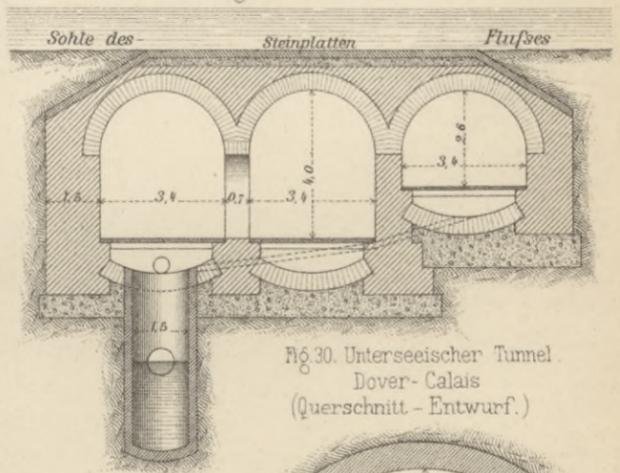
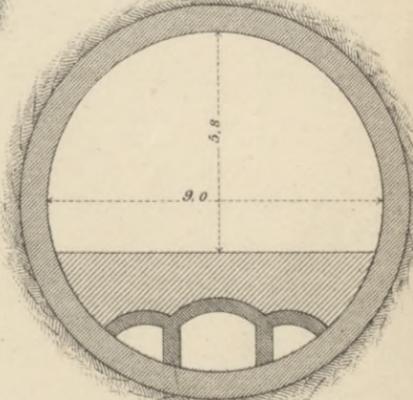


Fig. 30. Unterseeischer Tunnel. Dover-Calais (Querschnitt-Entwurf.)



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

# Tunnel-Thore, Nischen und Querschnitte.



Fig. 1. Schlossbergtunnel zu Heidelberg.

Mafsstab der Tunnel-Thore Fig. 1-11. 1:200.



Fig. 2. Tunnel-Thor der Köln-Giefsener Eisenbahn. (Tunnel zu Herchen)

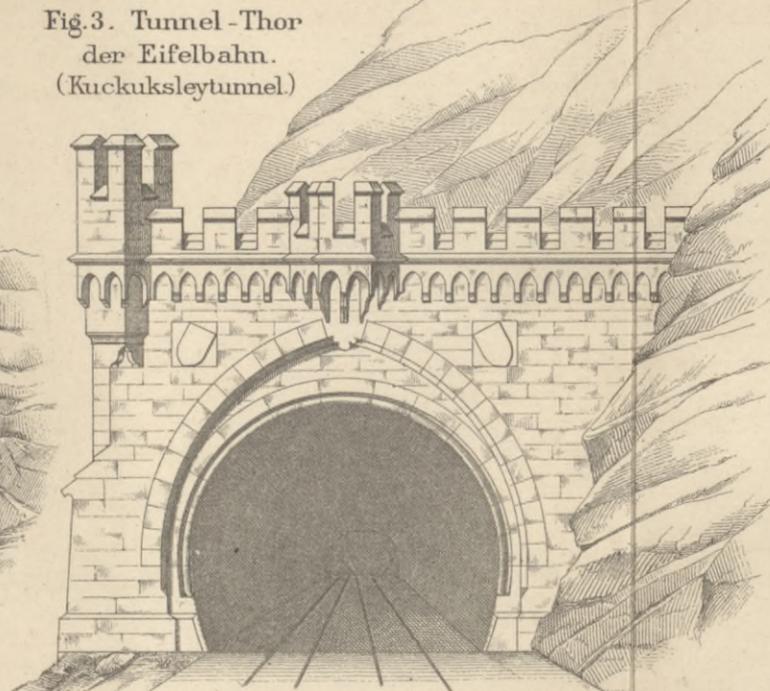


Fig. 3. Tunnel-Thor der Eifelbahn. (Kuckuksleytunnel)

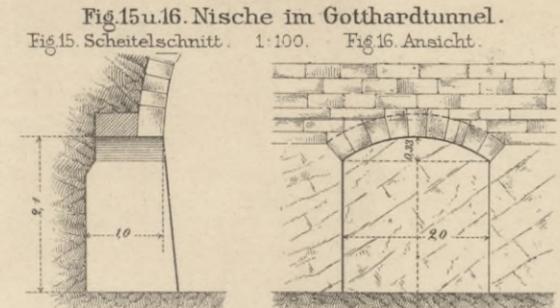


Fig. 15 u. 16. Nische im Gotthardtunnel. Fig. 15. Scheitelschnitt. 1:100. Fig. 16. Ansicht.

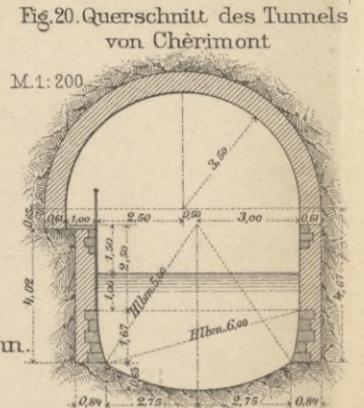


Fig. 20. Querschnitt des Tunnels von Chérumont M. 1:200.

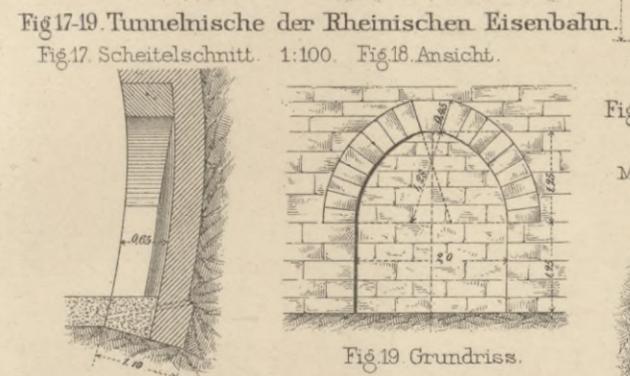


Fig. 17-19. Tunnelnische der Rheinischen Eisenbahn. Fig. 17. Scheitelschnitt. 1:100. Fig. 18. Ansicht. Fig. 19. Grundriss.

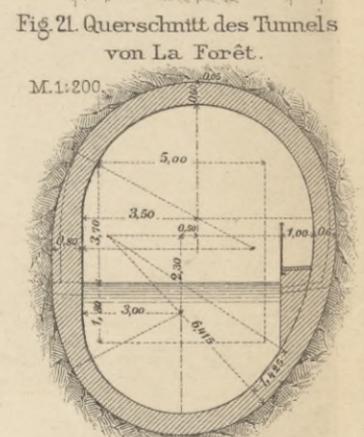


Fig. 21. Querschnitt des Tunnels von La Forêt. M. 1:200.

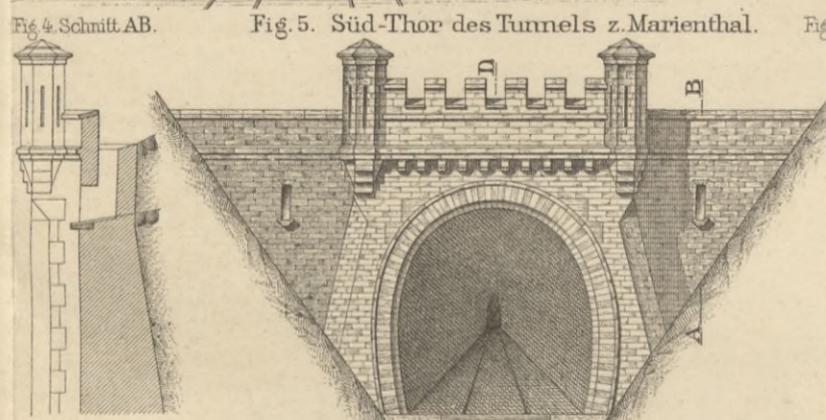


Fig. 4. Schnitt AB. Fig. 5. Süd-Thor des Tunnels z. Marienthal. Fig. 6. Schnitt CD.

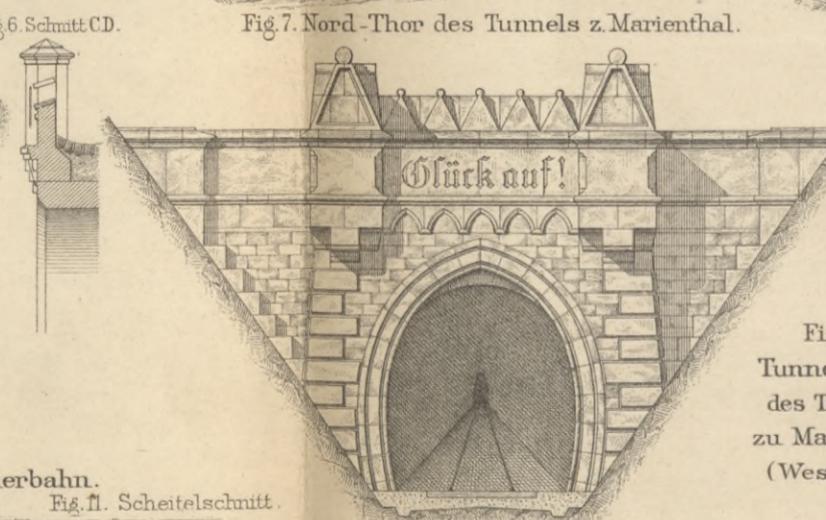


Fig. 7. Nord-Thor des Tunnels z. Marienthal.

Fig. 4-7. Tunnel-Thore des Tunnels des Marienthal. (Westerwald)

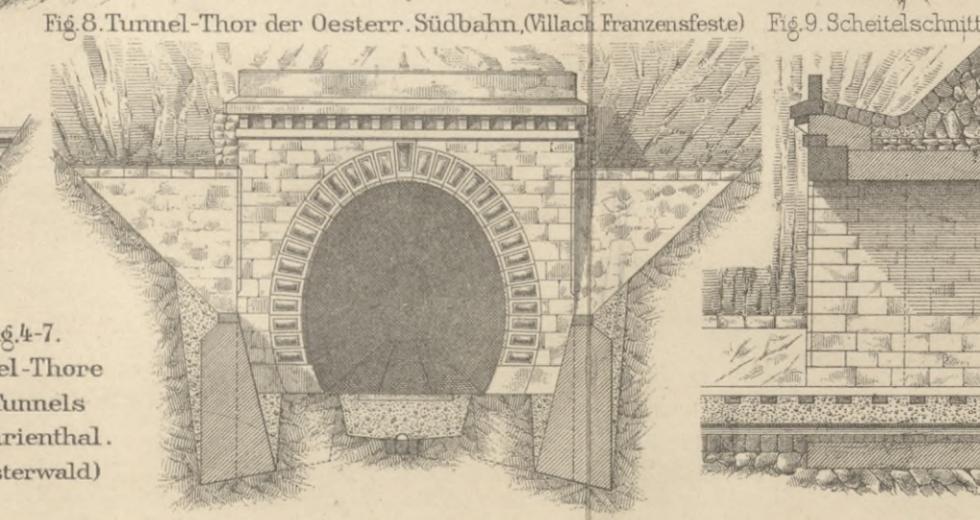


Fig. 8. Tunnel-Thor der Oesterr. Südbahn. (Villach Franzensfeste) Fig. 9. Scheitelschnitt.

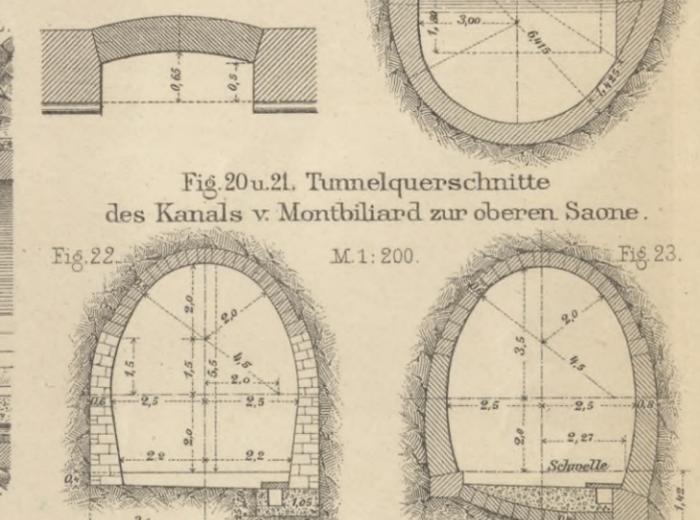


Fig. 20 u. 21. Tunnelquerschnitte des Kanals v. Montbiliard zur oberen Saone. Fig. 22. Fig. 23. M. 1:200.

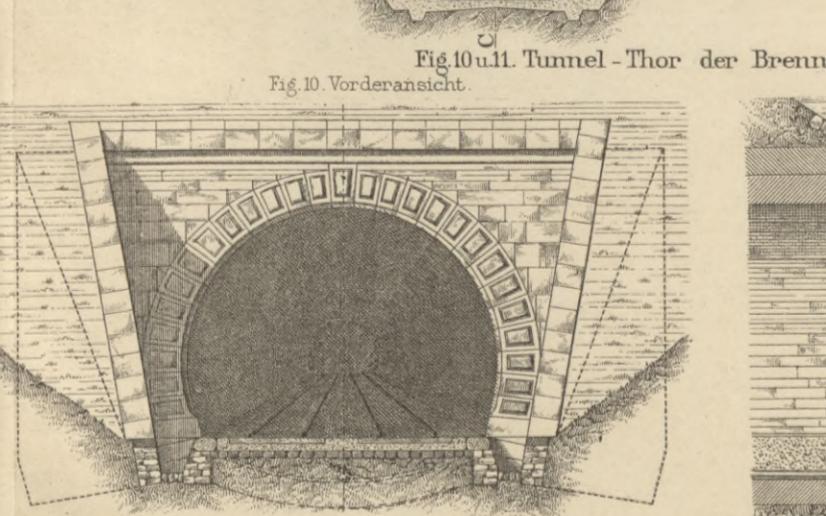


Fig. 10 u. 11. Tunnel-Thor der Brennerbahn.

Fig. 10. Vorderansicht. Fig. 11. Scheitelschnitt.

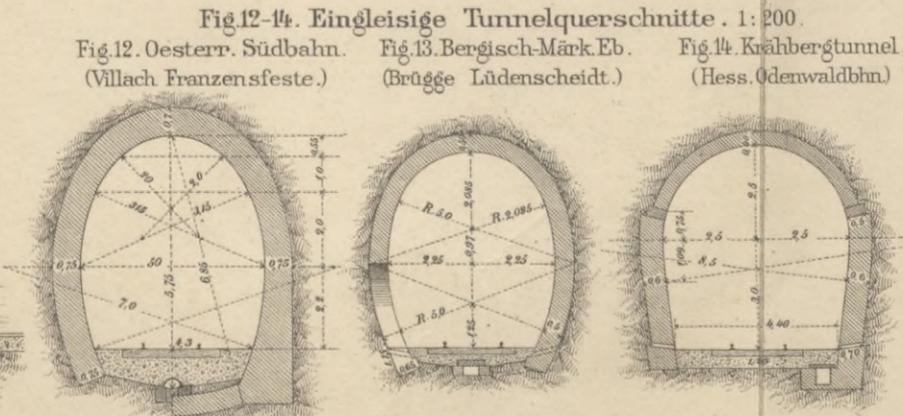


Fig. 12-14. Eingleisige Tunnelquerschnitte. 1:200. Fig. 12. Oesterr. Südbahn. (Villach Franzensfeste.) Fig. 13. Bergisch-Märk. Eb. (Brücke Lüdenscheidt.) Fig. 14. Krähberrgtunnel. (Hess. Odenwaldbahn.)

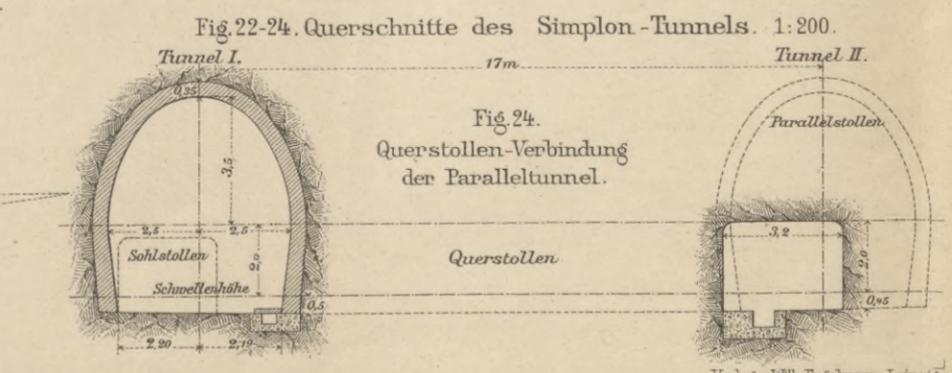


Fig. 22-24. Querschnitte des Simplon-Tunnels. 1:200. Tunnel I. 17m. Tunnel II. Parallelstellen. Querstellen. Sohlstellen. Schwellenhöhe.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

# Tunnel - Brüche.

Fig 1-6. Firstenbruch im Schwelmer Tunnel.  
(Düsseldorf - Hörde).

Fig 1 u 2. M. 1:400.  
Fig 3-6. M. 1:200.

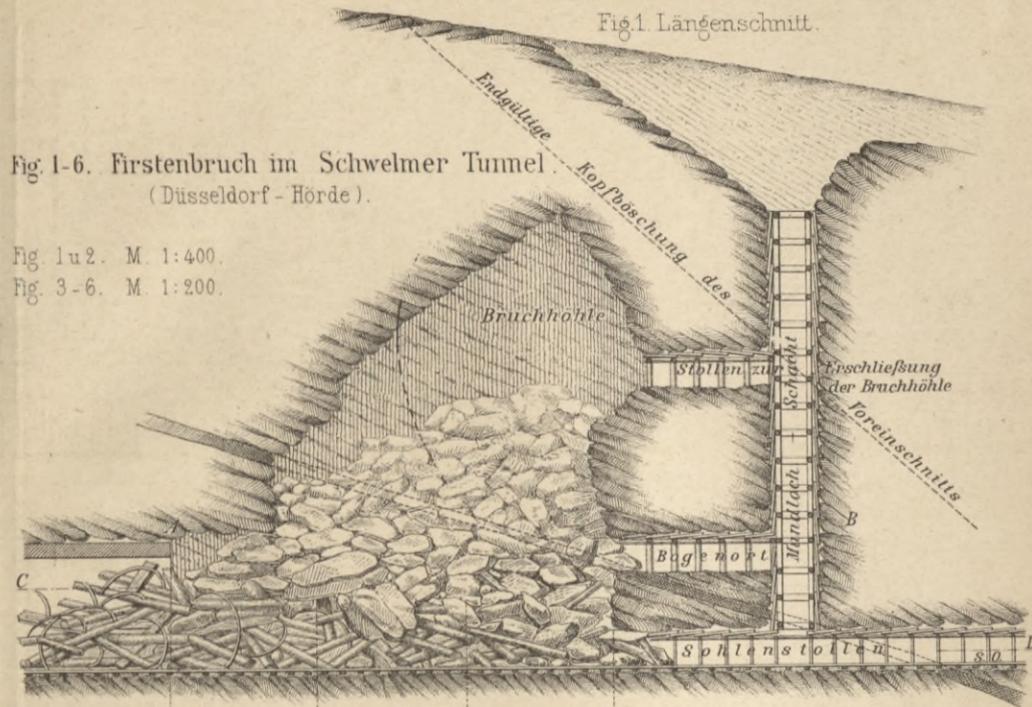


Fig. 2. Wagrechter - Schnitt C D.

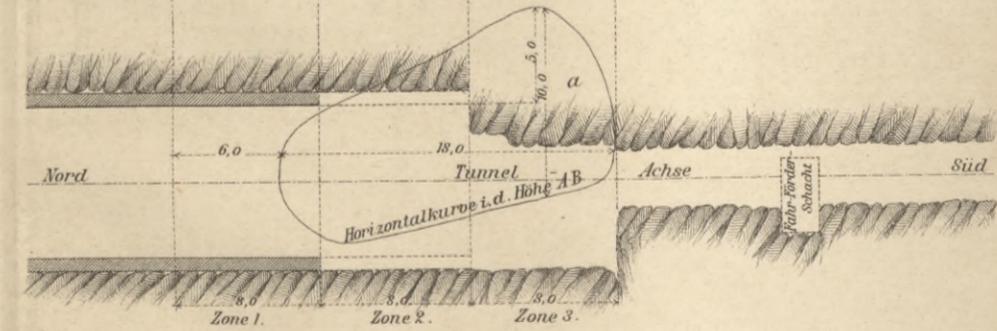


Fig 3.

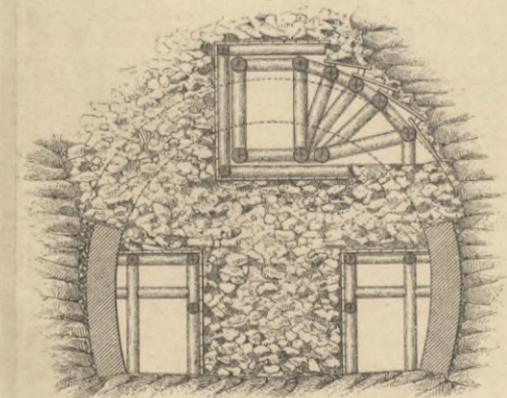


Fig 4.

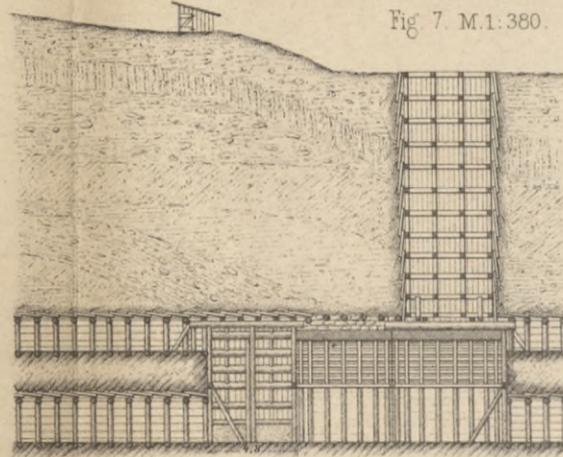
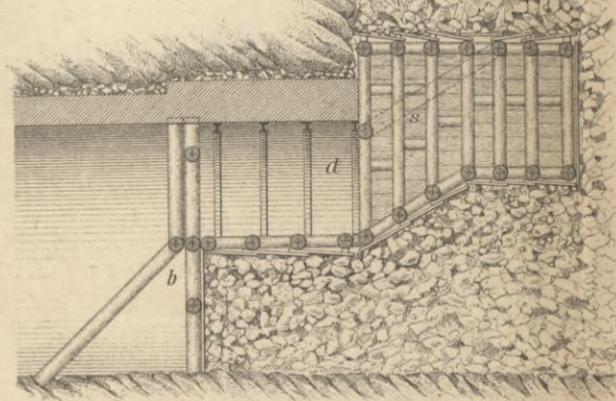


Fig 7. M. 1:380.

Fig 11. M. 1:380.

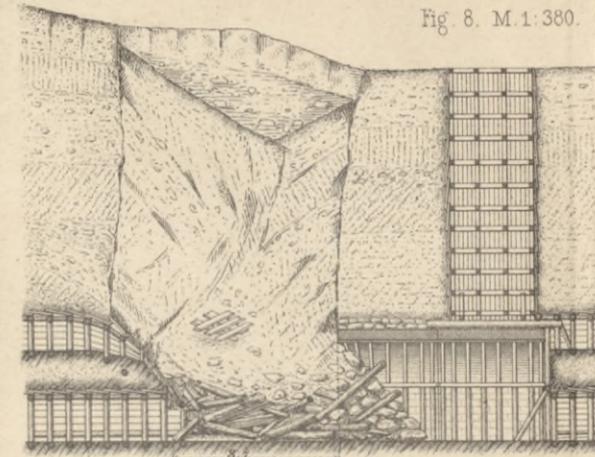
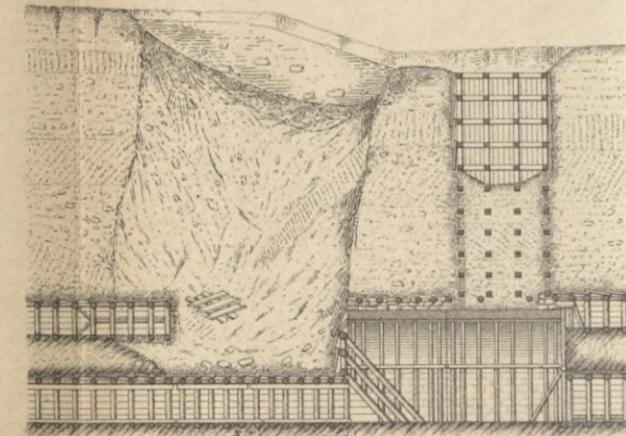


Fig 8. M. 1:380.

Fig 12. M. 1:140.

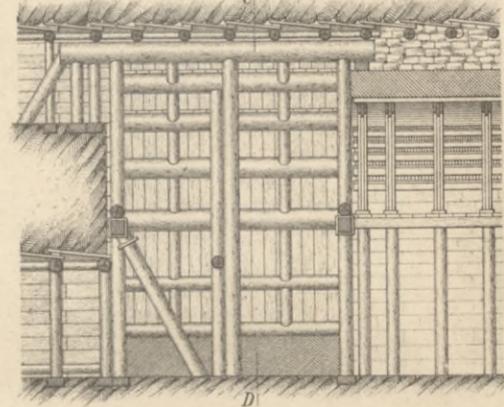


Fig 15.



Fig 15-19. Durch Sprengung zerstörter Tunnel bei Vierzy.  
(Soisson - Paris).

Fig 15 M. 1:400.  
Fig 16-19 M. 1:200.

Fig 6.

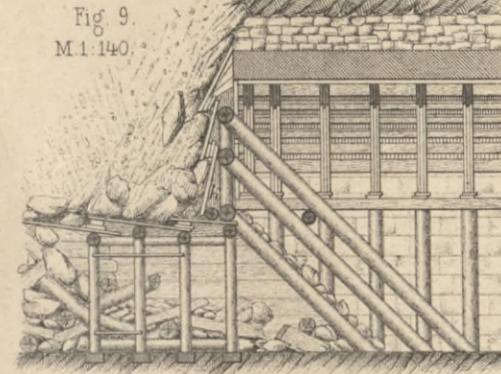
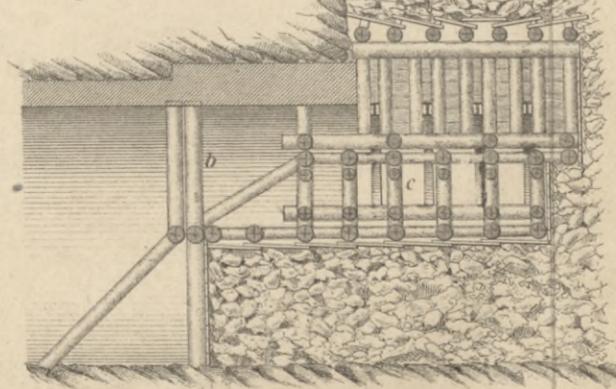


Fig 9.  
M. 1:140.

Fig 13. M. 1:140.

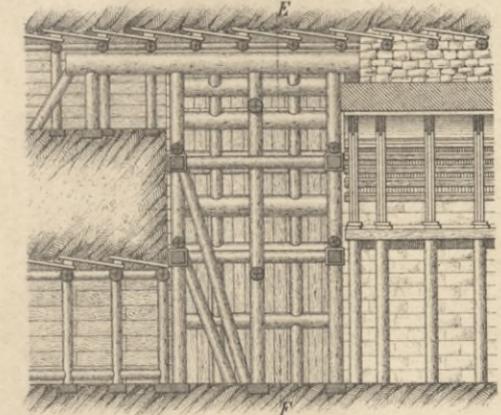


Fig 16.

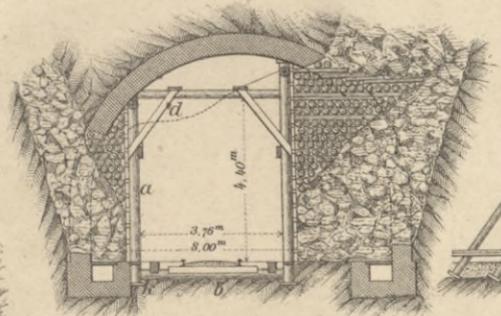


Fig 18.

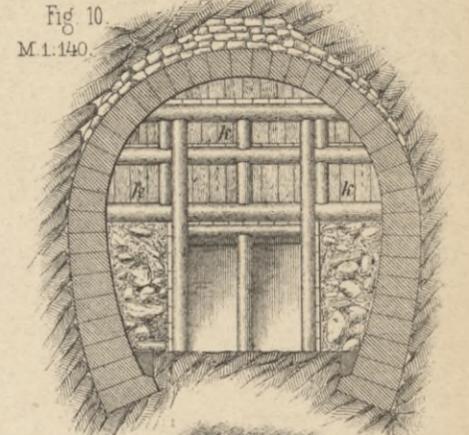
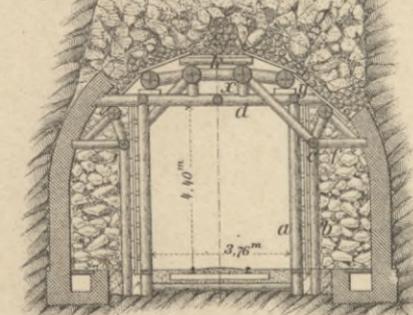


Fig 10.  
M. 1:140.

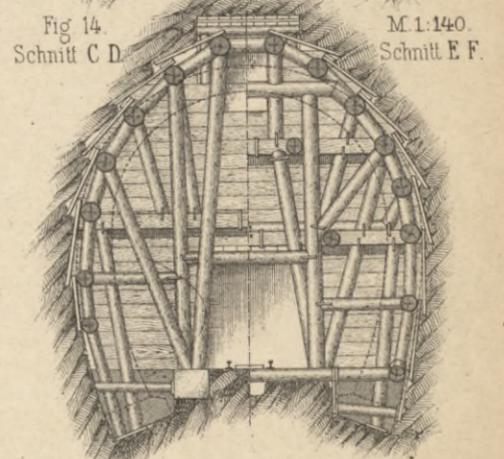


Fig 14. M. 1:140.  
Schnitt C D Schnitt E F.

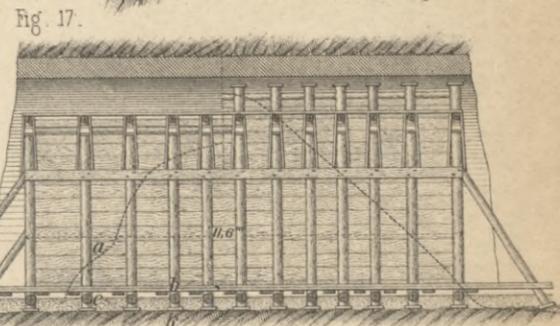


Fig 17.

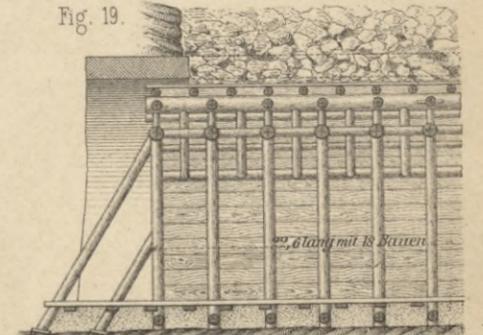


Fig 19.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKÓW

Fig.1. Bauplatz des Milseburgtunnels.

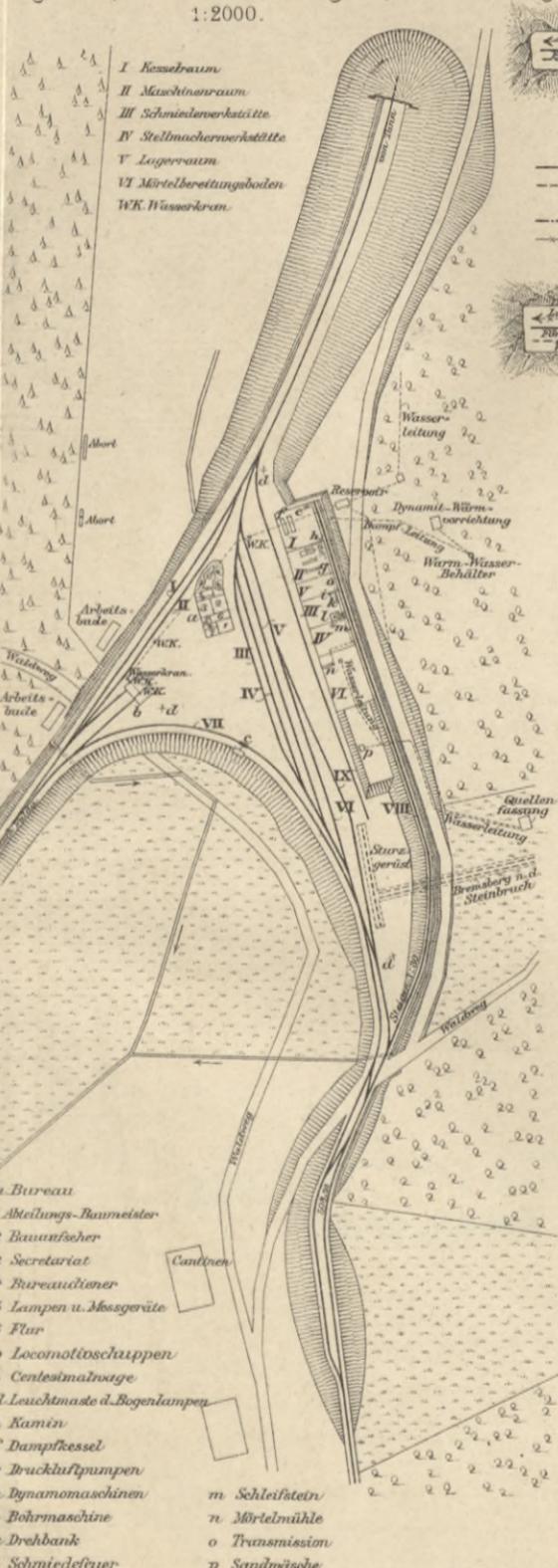


Fig.2. Stollenvortrieb und Lüftung des Simplontunnels, Südseite (Grundriss stark verkürzt)

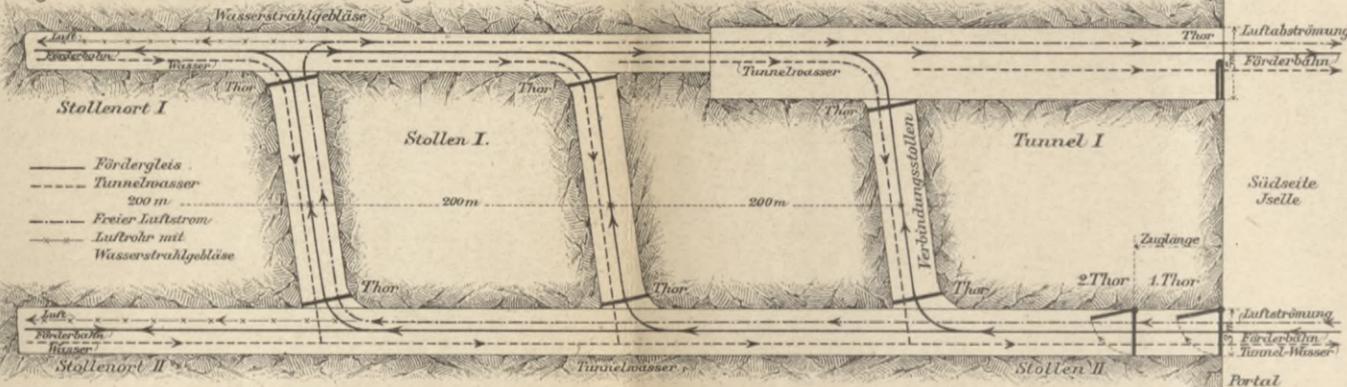


Fig.4. Entwässerungsanlage am Tunnel von Habas.

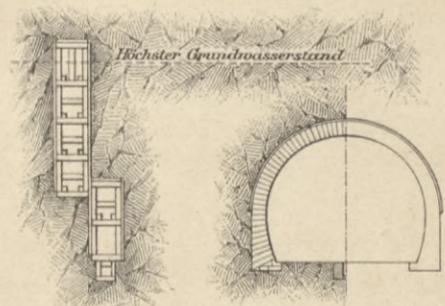


Fig.5. Lotrechter Schnitt.

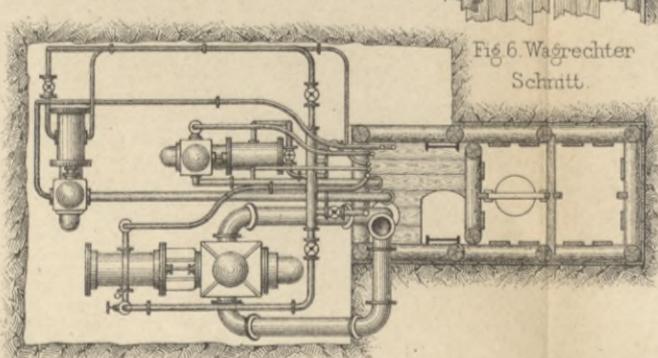
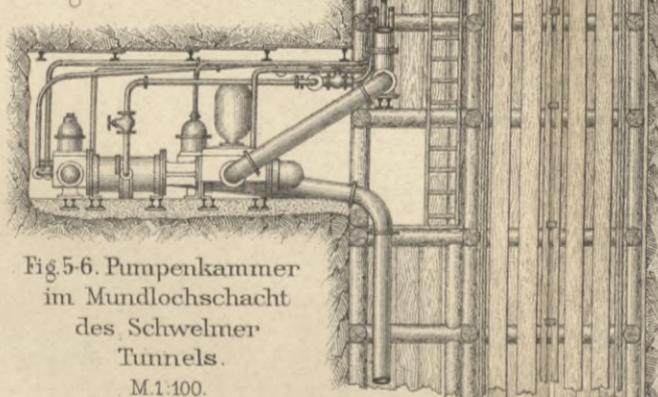


Fig.3. Nordmündung des Simplontunnels (Wagerechter Schnitt).

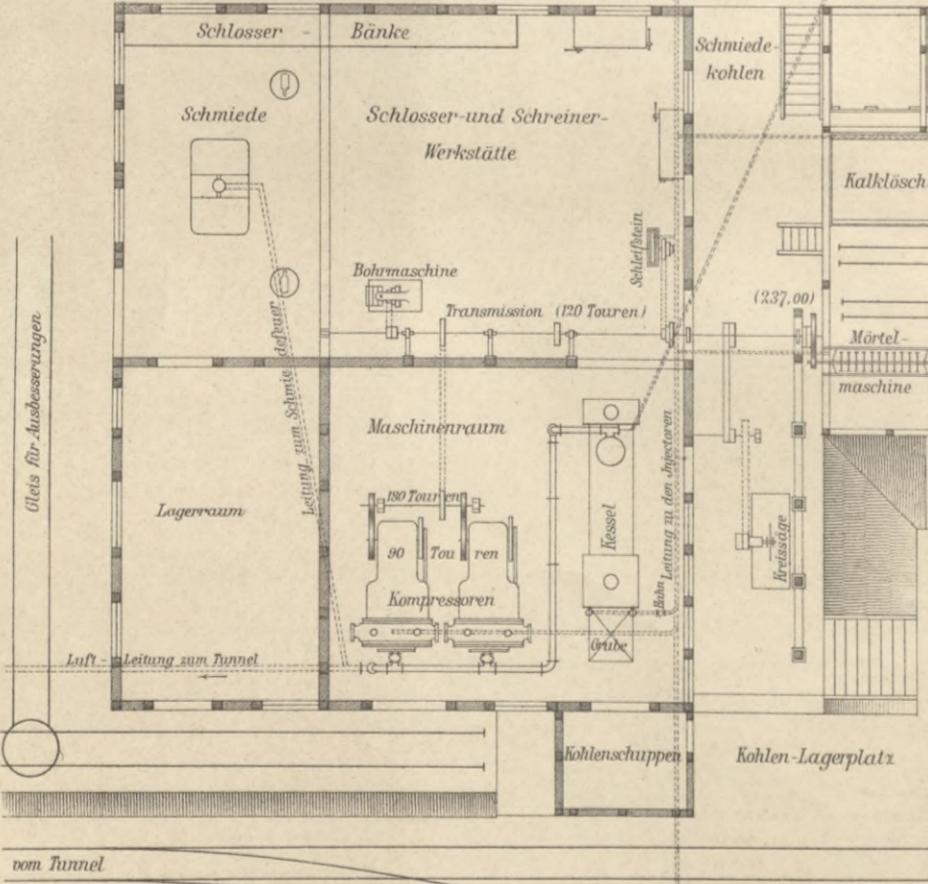
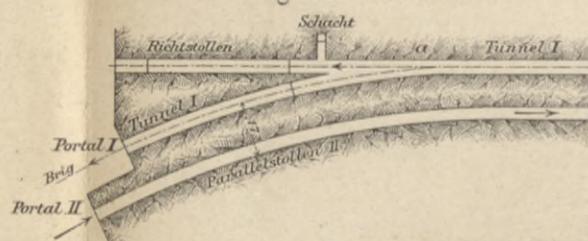


Fig.7. Querschnitt A-B.

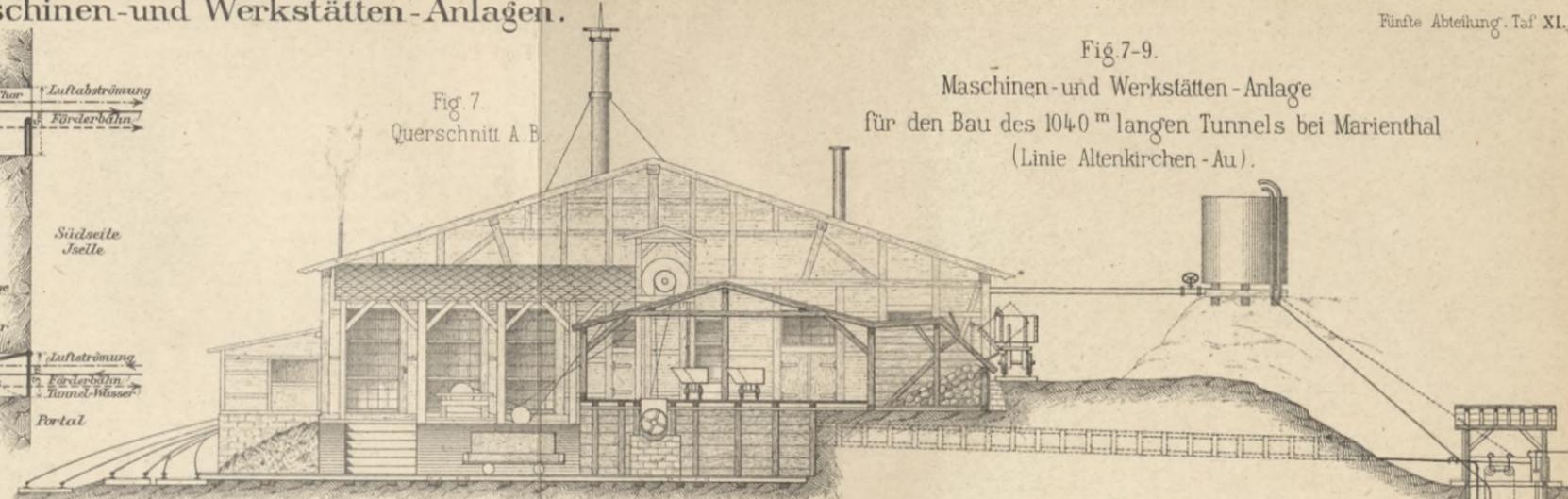
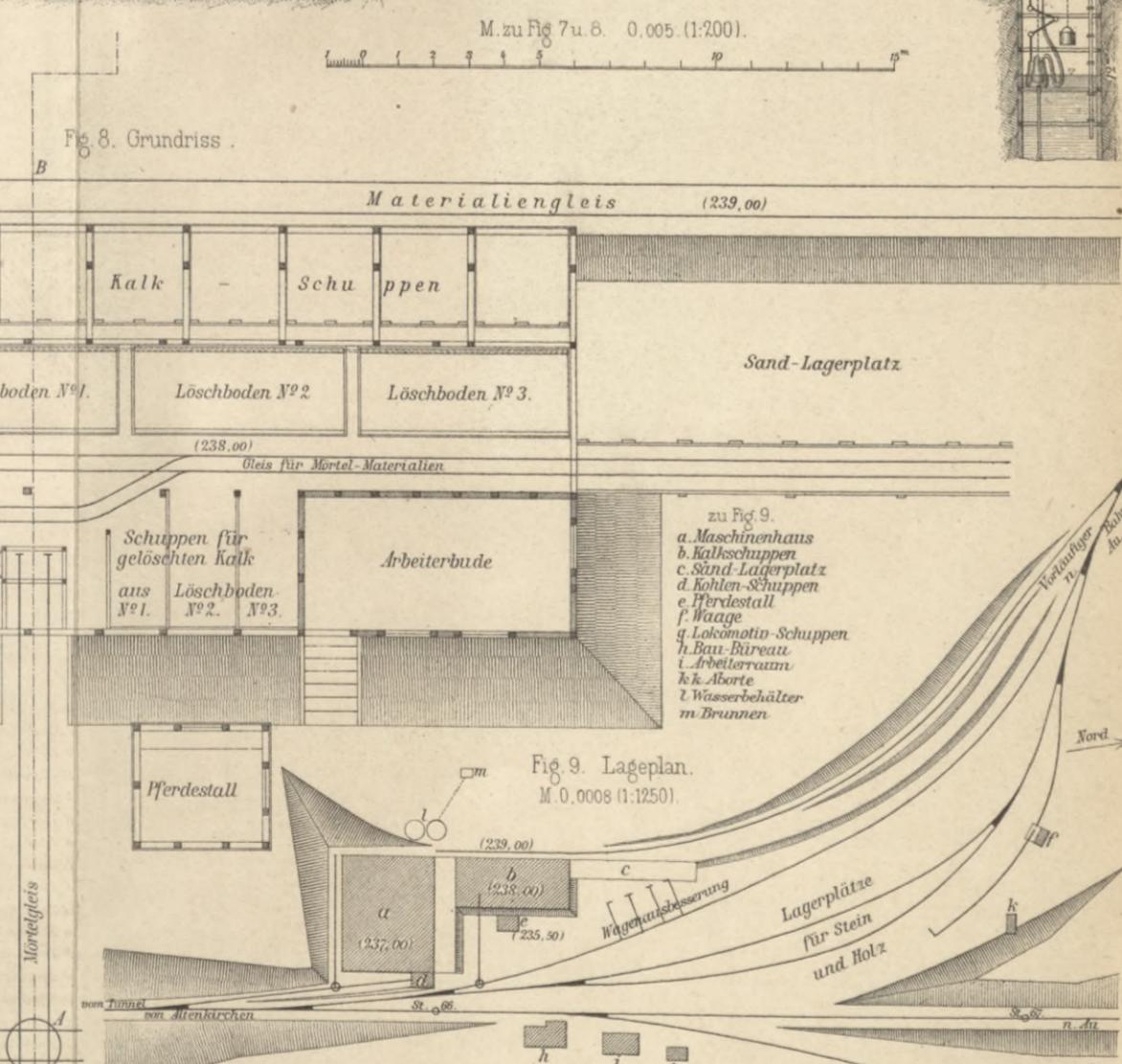


Fig.8. Grundriss.



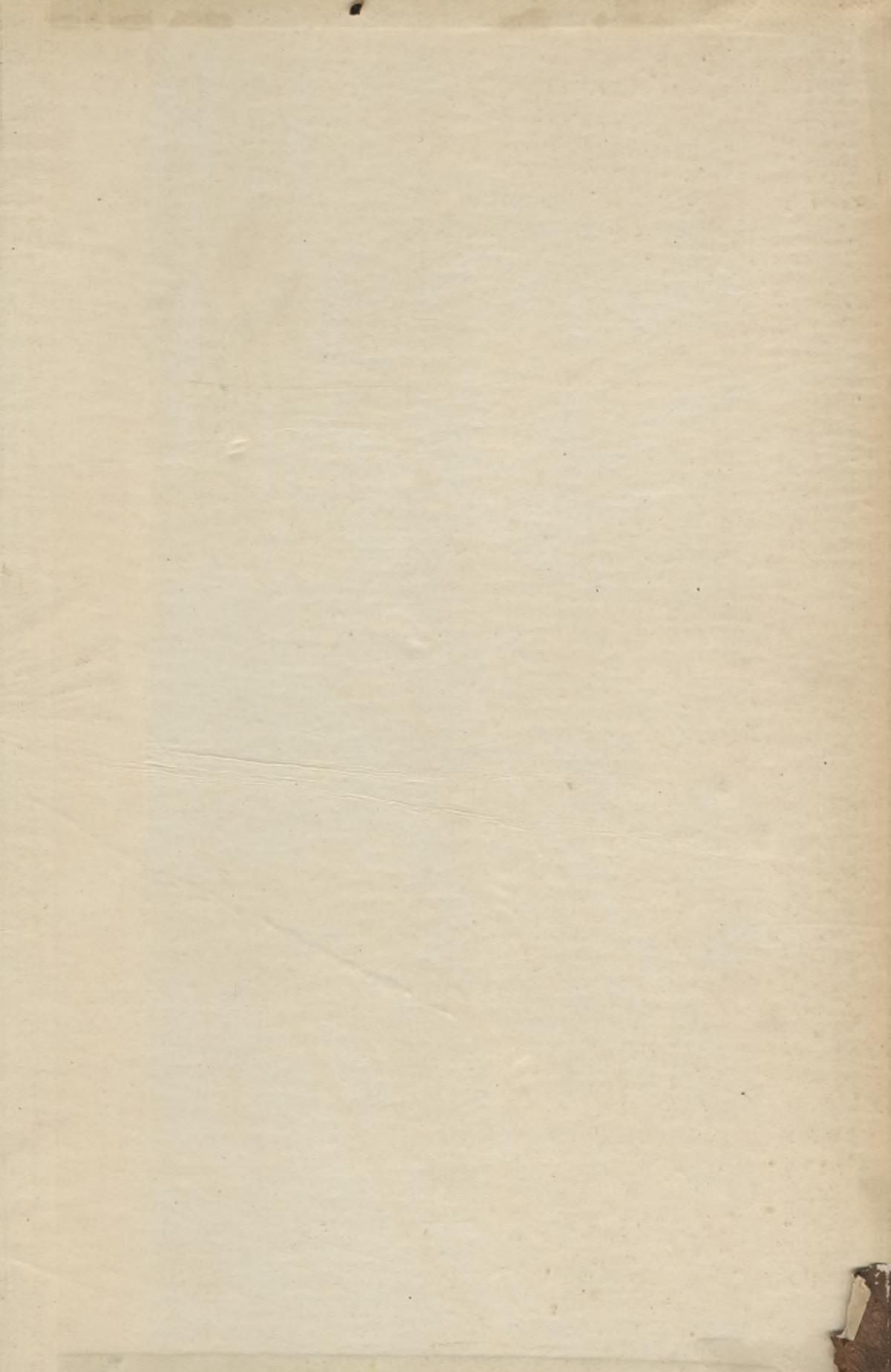
304

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA  
KRAKOW

15. 01







Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-306609

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



10000298638