

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



15199

L. inw.

Dupl.

1102

EX LIBRIS



S. Howan

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298664

6.2.45. ...

HANDBUCH
DER
INGENIEURWISSENSCHAFTEN

in fünf Bänden.

Zweiter Band:
D e r B r ü c k e n b a u .

Herausgegeben

von

Th. Landsberg,

in erster und zweiter Auflage von

Th. Schäffer und Ed. Sonne.

Vierte Abteilung.

Dritte vermehrte Auflage.

Leipzig
Verlag von Wilhelm Engelmann
1907

DER
BRÜCKENBAU.

Handbuch der Ingenieurwissenschaften II. Band.

Vierte Abteilung.

Bewegliche Brücken.

Bearbeitet von

W. Dietz,

Professor an der Technischen Hochschule in München,

herausgegeben von

Th. Landsberg,

Geh. Baurat, Professor an der Technischen Hochschule in Darmstadt,

in erster und zweiter Auflage von

Dr. Th. Schäffer,

Geheimerat in Darmstadt.

und

Ed. Sonne,

Geh. Baurat, Professor an der Technischen
Hochschule in Darmstadt.

Dritte vermehrte Auflage.

Mit 262 Textfiguren, Sachregister und 3 lithographierten Tafeln.

Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann

1907

BRÜCKENBAU. DER

Handl. der Ing. u. Arch. Wissensch. II. Band.



796597 - III

Vierte Abteilung.

Bewegliche Brücken.

Bearbeitet von

W. Dietz.

Professor an der Technischen Hochschule in München.

Verlagsgesellschaft von

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

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

~~III 15199~~

Dritte vermehrte Auflage.

Mit 202 Textfiguren, sechs Tafeln und 2 lithographirten Tafeln.

Leipzig

Verlag von Wilhelm Engelmann

Akc. Nr. ~~1168149~~

BPK-B-321/2017

Vorwort zur dritten Auflage.

Seit dem Erscheinen der zweiten Auflage der „Beweglichen Brücken“ ist geraume Zeit verflossen; die Bearbeitung der früheren Auflagen dieser Abteilung vom Brückenbau lag in den Händen des Professors Dr. Fränkel in Dresden. Das Hinscheiden des ausgezeichneten, von uns tief betrauten Mitarbeiters und die Gewinnung eines Bearbeiters der neuen Auflage verzögerte die Fertigstellung in unliebsamer Weise. Es ist gelungen, Herrn Professor W. Dietz in München für die Bearbeitung der nunmehr vorliegenden neuen Auflage zu gewinnen. Die lange seit dem Erscheinen der früheren Auflage verstrichene Zeit hat eine sehr eingehende Be- und Umarbeitung nötig gemacht: die Fortschritte auf dem Gebiete der Beweglichen Brücken sind groß, die Zahl der Neuerungen ist Legion. In der neuen Auflage ist den neuen Konstruktionen sorgfältig Rechnung getragen, die neuen Berechnungsweisen sind berücksichtigt, die praktische Berechnung ist durch eine Reihe von Beispielen erläutert.

Die Figuren sind für die bequeme Benutzung möglichst in den Text aufgenommen und nur, wo dies die Bildgröße nicht gestattete, Tafeln verwendet, deren Zahl auf drei herabgemindert wurde. Rein äußerlich ergibt sich die Vermehrung schon aus dem Vergleich dieser Auflage, welche über 19 Druckbogen umfaßt, mit der früheren von etwa 11 Druckbogen Umfang.

Es möge auch darauf hingewiesen werden, daß der Verfasser, Herr Prof. Dietz, bereits vor einem Jahrzehnt für die „Fortschritte der Ingenieurwissenschaften“ das Heft über Bewegliche Brücken bearbeitet hat: eine Reihe von Figuren konnte aus diesem Hefte hier verwendet werden.

So übergeben wir denn das Werk der Öffentlichkeit mit dem Wunsche, daß es Nutzen stiften und sich Freunde erwerben möge.

Darmstadt, im März 1907.

Th. Landsberg.

Handbuch des Brückenbaues.

Übersicht des Inhaltes der einzelnen Kapitel.

Erste Abteilung.

- I. Die Brücken im allgemeinen.
- II. Steinerne Brücken.
- III. Ausführung und Unterhaltung der steinernen Brücken.
- IV. Hölzerne Brücken.
- V. Wasserleitungs- und Kanalbrücken.
- VI. Die Kunstformen des Brückenbaues.

Zweite Abteilung.

- VII. Die eisernen Brücken im allgemeinen.
- VIII. Theorie der eisernen Balkenbrücken.

Dritte Abteilung.

- IX. Konstruktion der eisernen Balkenbrücken.
- X. Die Brückenbahn.

Vierte Abteilung.

- XI. Bewegliche Brücken.

Fünfte Abteilung.

- XII. Theorie der eisernen Bogenbrücken und der Hängebrücken.
- XIII. Konstruktion der Hängebrücken.
- XIV. Konstruktion der eisernen Bogenbrücken.

Sechste Abteilung.

- XV. Eiserne Brückenpfeiler.
 - XVI. Ausführung und Unterhaltung der eisernen Brücken.
-

Inhalts-Verzeichnis

der vierten Abteilung.

XI. Kapitel.

Bewegliche Brücken.

Bearbeitet von W. Dietz, Professor an der Technischen Hochschule in München, in 1. und 2. Auflage von Dr. W. Fränkel, weiland Baurat und Professor an der Technischen Hochschule in Dresden.

(Hierzu Tafel I bis III und 262 Textfiguren.)

	Seite
§ 1. Zweck und Einteilung der beweglichen Brücken	1
§ 2. Allgemeine Anordnung der beweglichen Brücken	2
A. Roll- oder Schiebebrücken.	
§ 3. Konstruktionsgrundgedanke	3
§ 4. Rollbrücken mit Fahrbahn oben	3
§ 5. Rollbrücken mit Fahrbahn unten	5
§ 6. Rollbrücken mit längs- und höhenverschieblicher Fahrbahn	9
§ 7. Rollbrücken mit Stützstreben	10
§ 8. Rollbrücken mit im ganzen verschieblichen Hauptträgern bei fest eingebauter Fahr- bahntafel	11
§ 9. Rollfähren	12
§ 10. Rollbrücken mit festliegenden Hauptträgern und angehängter Fahrbahn (hängende Fähren)	13
§ 11. Bewegungsvorrichtungen. Erforderliche Bewegungskraft	14
§ 12. Berechnung der Hauptträger	16
Angaben über ausgeführte Rollbrücken	17
Litteratur	18
B. Hubbrücken.	
§ 13. Hubbrücken mit beweglichen Hauptträgern	19
§ 14. Hubbrücken mit festliegenden Hauptträgern	29
§ 15. Bewegungsvorrichtungen. Erforderliche Bewegungskraft	30
Angaben über ausgeführte Hubbrücken	32
Litteratur	34
C. Zugbrücken.	
§ 16. Konstruktionsgrundgedanke. Einfache und doppelte Zugbrücken	35
a) Zugbrücken mit gleichbleibendem Gegengewichte.	
§ 17. Zugbrücken mit Ziehbäumen	36
§ 18. Baustoff. Ausgeführte Zugbrücken mit Ziehbäumen	37
§ 19. Sinusoidenbrücke von Belidor	38
§ 20. Zugbrücke mit Spiralrädern von Derché	41
b) Zugbrücken mit veränderlichem Gegengewichte.	
§ 21. Zugbrücken mit veränderlichem Gegengewichte von Bergère, von Poncelet und von Lacoste	42
§ 22. Zugbrücken von Delille und von Bergère	43

	Seite
§ 23. Amerikanische, maschinell angetriebene Doppelzugbrücken	44
§ 24. Zugbrücken, die Ergänzungen einer Doppeldrehbrücke bildend	46
Litteratur	46

D. Klapp-, Schaukel- und Faltbrücken.

§ 25. Konstruktionsgrundgedanke. Klappbrücken mit fester und mit beweglicher Drehachse	47
§ 26. Freier Raum unter der Hinterklappe. Anordnung und Unterstützung der Hauptträger	48
§ 27. Baustoff. Konstruktionsformen. Eigengewicht der Hauptträger	53
§ 28. Berechnung der Hauptträger	54
§ 29. Das Gegengewicht. Die Drehachse	56
§ 30. Bewegungsmechanismus. Erforderliche Kraft und Zeit für das Öffnen und Schließen der Brücke	58
§ 31. Feststellvorrichtungen. Anschluß der Klappenfahrbahn an die Fahrbahn der festen Brücke	65
§ 32. Beschreibung neuerer Klapp- und Schaukelbrücken	66
a) Towerbrücke in London	66
b) Scheluwebrug bei Rotterdam	69
c) Strafenbrücke über die Schleuse bei Rendsburg	69
d) Schmiedebrücke in Königsberg	71
e) Entwurf einer Klappbrücke über den Newton Creek (Nordamerika)	74
f) Klappbrücke in der Huronstraße, Milwaukee (System Schinke)	74
g) Rollklappbrücke in der Van Burenstraße, Chicago (System Scherzer)	77
h) Nord-Halsted-Klappbrücke in Chicago	78
i) Klappbrücke in der 16. Straße in Chicago	78
k) Entwurf einer Klappbrücke über den Chicagoflufs	80
l) Weitere Ausgestaltung des Rollklappbrückensystems Scherzer (vergl. § 32 g)	80
α. Eisenbahnklappbrücke, Boston	80
β. Eisenbahnklappbrücke über den Chicagoflufs	81
m) Entwurf einer Strafenklappbrücke, System Ericson	81
n) Strafenbrücke über die Tiber nächst Rom	82
§ 33. Konstruktion der Faltbrücken	83
§ 34. Berechnung der Faltbrücken	83
Angaben über ausgeführte Klappbrücken	84
Litteratur	86

E. Drehbrücken.

I. Allgemeine Beschreibung der Drehbrücken.

§ 35. Konstruktionsgrundgedanke. Gleicharmige und ungleicharmige, einteilige und zweiseitige Drehbrücken	88
§ 36. Anordnung des Grundrisses. Achsiale und nichtachsiale Stellung des Drehzapfens. Hinzufügung des zweiten Gleises	89
§ 37. Anordnung des Querschnittes	89
§ 38. Auflagerung der Drehbrücken auf dem Drehpfeiler. Brücken mit und ohne Rollkranz	90
§ 39. Freimachen der Brücke vor dem Aufdrehen. Heben und Senken der Trägerenden	99
§ 40. Drehbrücken mit beweglichem Drehzapfen (Königsstuhl)	103
§ 41. Vorrichtungen zur Arbeitsverminderung beim Heben der Brücke vor bzw. nach dem Ausschwenken	105
§ 42. Baustoff und Konstruktionsformen der Hauptträger	113
§ 43. Querverbände und Windkreuze	120
§ 44. Bewegungsvorrichtungen und Bewegungskraft	120
§ 45. Berechnung der Bewegungsvorrichtungen	126
§ 46. Feststellvorrichtungen	136
§ 47. Hemm-, Brems- und Signalvorrichtungen	138
§ 48. Die Pfeiler der Drehbrücken. Anlagen zur Erleichterung der Schifffahrt durch die Brücke	143

II. Berechnung der Hauptträger der Drehbrücken.

1. Unveränderlicher Querschnitt. Keine Stützenüberhöhung.

§ 49.	Formeln für das anzunehmende Eigengewicht g für die laufende Längeneinheit	145
§ 50.	Anzunehmende Verkehrslast und die von derselben erzeugten größten Querkräfte Q und Biegemomente M	147
§ 51.	Getrennte Balken über zwei Öffnungen mit Hängebock über dem Mittelpfeiler	148
§ 52.	Träger über eine Öffnung mit einseitig überhängenden Enden	149
§ 53.	Durchlaufender Träger über 2 Felder mit einer Durchlaufsöffnung	150
§ 54.	Durchlaufender Träger mit 2 Durchlaufsöffnungen und Stützung auf dem Mittelzapfen	151
§ 55.	Träger der Drehbrücken nach Schwedler	151
§ 56.	Durch Zugstäbe verstärkte durchlaufende Träger über 2 Felder	152
§ 57.	Durchlaufender Balken auf 4 festen Stützen	154
§ 58.	Durchlaufender Träger auf 4 Stützen, von denen die beiden mittleren ausbalanciert sind	155
§ 59.	Durchlaufender Träger auf 4 Stützen, mit Querkraft-Nullfeld als Mittelöffnung	155
§ 60.	Durchlaufender Träger auf 4 Stützen mit Momenten-Nullpunkt in der Mittelöffnung	156

2. Einfluss der Querschnittsveränderlichkeit.

§ 61.	Träger mit unveränderlichem Querschnitt, aber veränderlicher Höhe	156
§ 62.	Träger mit unveränderlicher Höhe, aber mit veränderlichem, den $max M$ proportionalen Gurtquerschnitte	156
§ 63.	Träger mit veränderlicher Höhe und veränderlichem, den $max M$ angepassten Gurtquerschnitte	157
§ 64.	Träger mit zwei ungleich großen Spannweiten l_1 und l_2	157
§ 65.	Genauere Berechnung eines Trägers mit veränderlichem J über zwei ungleich großen Öffnungen	158
§ 66.	Genauere Berechnung eines vollwandigen Trägers beliebig veränderlicher Höhe und veränderlichen Querschnittes (Einfluss der Momente)	158

3. Einfluss der Füllungsglieder.

§ 67.	Das Wandblech des vollwandigen Trägers über zwei Felder	160
§ 68.	Die Füllungsglieder des Fachwerkträgers	162
§ 69.	Zahlenbeispiele	163

4. Einfluss ungleicher Stützenhöhe.

§ 70.	Überhöhung der Endstützen als Mittel gegen das Aufkippen der Trägerenden	164
§ 71.	Überhöhung der Endstützen als Mittel, die größten Biegemomente der Träger einander gleich zu machen	165
§ 72.	Günstigste Stützenüberhöhung mit Bezug auf das Gewicht des Trägers	167
§ 73.	Zulässiger Größtwert der Endstützenüberhöhung	167

5. Einfluss der Wärme.

§ 74.	Ungleiche Erwärmung der Gurte bei unveränderlicher Trägerhöhe	167
§ 75.	Ungleiche Erwärmung des Vollwandträgers beliebig veränderlicher Höhe und veränderlichen Querschnittes (Träger mit 2 Feldern)	168

III. Einzelheiten der Konstruktion und Berechnung der Brückenauflagerung auf dem Drehpfeiler.

§ 76.	Unterer und oberer Laufkranz. Tragrollen. Tragkugeln. Laufräder	170
§ 77.	Konstruktion des Drehzapfens und seiner Lagerung	172
§ 78.	Festigkeitsberechnung der Hauptquerträger und des Drehzapfens	176

IV. Einzelheiten der Konstruktion und Berechnung der Endauflagerung der Drehbrückenträger.

§ 79.	Unrunde Scheiben oder auch Kurbelzapfen	178
§ 80.	Keile	179
§ 81.	Schraubenwinden	180

	Seite
§ 82. Kniehebel	181
§ 83. Druckwasser-Pressen	183
V. Besprechung größerer neuerer Drehbrückenanlagen.	
§ 84. Die Drehbrücken des Kaiser Wilhelm-Kanals (Nord-Ostsee-Kanal)	184
Besondere Eigentümlichkeiten und Anordnungen der verschiedenen Drehbrücken	193
a) Eisenbahndrehbrücke bei Osterrönfeld	193
b) Strafsendrehbrücke bei Rendsburg	197
c) Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl	197
d) Pontondrehbrücke bei Holtenau	198
e) Prahmdrehbrücke bei Holtenau	198
§ 85. Drehbrücke Neuhoft über den Reiherstieg in Hamburg	199
§ 86. Drehbrücke zu den Reiherstieg-Sperrschleusen bei Harburg	201
§ 87. Strafsendrehbrücke über den alten Hafen in Cuxhaven	203
§ 88. Strafsendrehbrücke über den westlichen Kanal in Harburg	204
§ 89. Jungbusch-Strafsendrehbrücke in Mannheim	206
§ 90. Strafsen- und Eisenbahndrehbrücke im Industriehafen in Mannheim	207
§ 91. Herren-Doppeldrehbrücke zu Lübeck	211
§ 92. Strafsendrehbrücke über die untere Hafenmündung in Ludwigshafen	215
§ 93. Drehbrücke über den Weaverfluß, Winnington (England)	217
§ 94. Barton-(Kanal-)Drehbrücke des Manchester Schiffkanals	217
Litteratur	218
Angaben über ausgeführte Drehbrücken	226
F. Kranbrücken.	
§ 95. Kranbrücken	236
Litteratur	241
G. Schwimmende Brücken.	
§ 96. Baustoff, Form, Abmessungen und Verankerung der schwimmenden Stützen. Erforderliche Anzahl derselben	241
§ 97. Konstruktion des Überbaues und Unterstützung desselben durch die Schiffe. Längsverbinding der einzelnen Joche untereinander	249
§ 98. Durchlafsglieder	252
§ 99. Die Brückenanhafungen	253
Litteratur	255
H. Fähr- und Landebrücken.	
§ 100. Konstruktionsgrundgedanke	255
§ 101. Anordnung der Tragbrücke	256
§ 102. Anordnung der Fährre. Bewegungsmechanismus	256
§ 103. Einzelheiten ausgeführter Fährbrücken	257
§ 104. Allgemeines über Fährbrücken	257
§ 105. Landungsbrücken	257
Litteratur	259
J. Zerlegbare Brücken und Brücken für Kriegszwecke.	
§ 106. Zweck und Einteilung	260
§ 107. Konstruktionsgrundgedanke	261
§ 108. Ausgeführte Kriegs- und zerlegbare Brücken	261
Litteratur	261
§ 109. Vergleich der verschiedenen Systeme beweglicher Brücken	262
Litteratur	265
§ 110. Schlußbemerkung	266
Litteratur	266

Anhang.

Kurze Ableitung der im Vorhergehenden benutzten Formeln aus der Theorie des durchlaufenden Balkens.

I. Homogener durchlaufender Balken mit beliebig vielen Feldern.

§ 1.	Elastische Durchbiegung eines unter dem Winkel α gegen die Wagerechte eingespannten Balkens	267
§ 2.	Bezeichnungen	268
§ 3.	Gleichung der drei Stützenmomente	268
§ 4.	Bestimmung der Querkräfte und Stützendrücke	269

II. Homogener durchlaufender Balken über zwei Öffnungen bei gegebener Belastung.

A. Unveränderliches J .

§ 5.	Belastung mit Einzellasten	269
§ 6.	Gleichförmige Belastung	270

B. Veränderliches J .

§ 7.	Gleichung der drei Stützenmomente	271
§ 8.	Gleichförmige Belastung	271
§ 9.	Berechnung der in den Formeln 34 bis 38 vorkommenden Integrale	271
§ 10.	Belastung mit Einzellasten	272

III. Ungünstigste Belastung und Formänderungen durchlaufender Balken mit 2 Feldern.

§ 11.	Gleichförmige Belastung	273
§ 12.	Einzellasten	278
	A. Unveränderliches J	278
	B. Veränderliches J	281
§ 13.	Bestimmung der Biegelinien	281
	A. Bei vollwandigen Blechträgern mit veränderlichem J	281
	B. Bei gegliederten Fachwerkträgern	281
§ 14.	Hebung und Senkung der Zwischenstütze	284
	A. Unveränderliches J	284
	B. Veränderliches J	285

IV. Homogener durchlaufender Balken mit 3 Feldern auf festen Stützen.

§ 15.	Einzellasten	285
§ 16.	Gleichförmige Belastung	286
§ 17.	Größtwerte der Querkräfte und Biegemomente bei gleichförmiger Belastung	288
§ 18.	Änderung der Höhenlage der Zwischenstützen	290
§ 19.	Ungleiche Erwärmung	290
§ 20.	Wagerechte Längsbelastung (Bremswirkung) des durchlaufenden Trägers mit mehr als 2 Feldern	291
§ 21.	Anwendung auf den durchlaufenden Träger mit 2 Feldern	292

V. Homogener durchlaufender Balken mit 3 Feldern auf balancierten Mittelstützen.

§ 22.	Bestimmungsweise der Stützendrücke	293
§ 23.	Einzellasten	294
§ 24.	Gleichförmig verteilte Lasten	294

VI. Durchlaufende Fachwerkbalken.

§ 25.	Der Satz vom augenblicklichen Drehpunkte	294
§ 26.	Elastische Durchbiegung eines einseitig eingespannten Fachwerkes	295
§ 27.	Elastische Durchbiegung eines schief eingespannten Fachwerkbalkens	296
§ 28.	Behandlung durchlaufender Fachwerkbalken	296
§ 29.	Durchlaufender Fachwerkbalken mit 2 gleichen Feldern	297

	Seite
VII. Bestimmung der elastischen Linie für einige Fälle des durchlaufenden homogenen Balkens.	
§ 30. Durchlaufender Balken mit 2 Feldern	297
§ 31. Beiderseits überhängender Balken	300
VIII. Homogener über 3 Felder durchlaufender Balken mit Nebenbedingungen.	
§ 32. Nebenbedingung. Gleichheit der Pfeilermomente	301
IX. Allgemein gültige Beziehungen beim homogenen durchlaufenden Balken mit beliebig vielen Feldern.	
§ 33. Bezeichnungen	302
§ 34. Besondere Festpunkte	302
§ 35. Einfluslinien	303
§ 36. Vorzeichen der Momente und Querkräfte	303
§ 37. Einfluß der Querschnittsveränderlichkeit	303
Zahlenbeispiel	303
§ 38. Begründung der bei der Ableitung der im Anhang gegebenen Formeln gewählten Bezeichnungsweise	304
Litteratur	304
Sachregister	307
Druckfehlerverzeichnis	312

Atlas von 3 Tafeln nebst Inhaltsverzeichnis.

XI. Kapitel.

B e w e g l i c h e B r ü c k e n .

Bearbeitet von

W. Dietz,

Professor an der Technischen Hochschule in München,

in 1. und 2. Aufl. von Dr. W. Fränkel, weiland Baurat und Professor an der Techn. Hochschule in Dresden.

(Hierzu Tafel I bis III und 261 Textfiguren.)

§ 1. Zweck und Einteilung der beweglichen Brücken. Während eine feste Brücke den Verkehr über dieselbe zu jeder Zeit gestattet, bezweckt man bei der Anlage einer beweglichen Brücke die Möglichkeit, die Verbindung zeitweilig aufzuheben (wie z. B. bei den Zugbrücken der Festungen), oder den freien Raum unter der Brücke zur Hindurchlassung von Schiffen, Eisenbahnzügen u. dergl. zu vergrößern. Rechnet man ferner noch diejenigen Brücken hierher, bei welchen die Zwischenstützen schwimmend, also der Höhe nach mit dem Wasserstande veränderlich angeordnet sind, so kann man folgende Arten beweglicher Brücken unterscheiden:

- | | |
|---------------------------------------|---|
| A. Rollbrücken. | F. Kranbrücken. |
| B. Hubbrücken. | G. Schiffbrücken. |
| C. Zugbrücken. | H. Fähren und Landebrücken. |
| D. Klapp-, Schaukel- und Faltbrücken. | J. Zerlegbare Brücken und Brücken für Kriegszwecke. |
| E. Drehbrücken. | |

Als älteste bewegliche Brücken haben jedenfalls Schiffbrücken mit Durchlaufgliedern für die Schifffahrt gedient. Im Altertume sind von den Griechen sowohl wie von den Römern hölzerne Brücken-Überbaue zur Ausführung gebracht worden, welche zu Verteidigungszwecken ab- und aufgeschlagen werden konnten. Zugbrücken und Klappbrücken kamen zunächst im Mittelalter, besonders bei Festungen, in mannigfaltiger Gestalt zur Anwendung, wobei man außer einer möglichst leichten und raschen Bewegung der Fahrbahn auch eine Sicherung der Bewegungsvorrichtung vor den feindlichen Geschossen zu erreichen suchte.

Gegen Ende des vorigen Jahrhunderts entstanden in Holland, Belgien, England und Frankreich die ersten Drehbrücken, welche anfangs mit hölzernen, dann (1804), und zwar zuerst in England, mit gusseisernen, 1826, ebenfalls zunächst in England, mit schweißeisernen Trägern ausgeführt wurden. Eine besondere Art von Drehbrücken, welche ihrer an Drehkrane erinnernden Konstruktion wegen den Namen Kranbrücken führen, findet man in Amerika und in Holland seit etwa 70 Jahren.

Hubbrücken scheinen erst in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts aufgetreten zu sein. Die ersten derselben sind in den 50er Jahren in England über den Grand-Surrey-Kanal zur Ausführung gelangt.

§ 2. Allgemeine Anordnung der beweglichen Brücken. Aufser den Gesichtspunkten, welche bei der Konstruktion der Brücken im allgemeinen maßgebend sind (Festigkeit, Billigkeit, lange Dauer, Schönheit) haben für bewegliche Brücken die beiden Bedingungen einer leichten Beweglichkeit und möglichst selten und dann rasch auszuführender Ausbesserungsarbeiten eine besondere Wichtigkeit.

Die allgemeine Anordnung einer beweglichen Brücke hängt von der Bedeutung des Verkehrs über die Brücke und unter derselben ab.¹⁾

Bei geringem Verkehr sowohl zu Wasser als zu Land genügt ein Durchlaß, welcher von einer beweglichen Brücke übersetzt wird. Hierbei wird vielfach von der Brücke bloß ein verhältnismäßig kurzer Teil beweglich angeordnet (Textfig. 18, 35, 53 und 73). Die gleiche Anordnung findet man jedoch auch bei starkem Schiffsverkehr; nur muß dann die Durchfahrtsöffnung reichlich breit bemessen werden (Textfig. 8, 66 und 84). — Ist der Schiffsverkehr sehr bedeutend, so können zwei parallele Durchlässe von gleicher Breite und in der Mitte des Durchlasses ein Pfeiler angelegt werden. Eine einzige Brücke auf diesem Mittelpfeiler ist jedenfalls eine gute Lösung der Aufgabe, weil hierdurch, besonders bei gleicharmigen Drehbrücken (Textfig. 102 bis 104, 130 und 198) für den Schiffsverkehr stromauf- und stromabwärts getrennte und gleichzeitig benutzbare Fahrwege geschaffen werden, bei vollständiger Sicherheit gegen die Gefahr des Zusammenstoßes der in entgegengesetzter Fahrtrichtung befindlichen Schiffe. — Man überbrückt jedoch auch in diesem Fall häufig den schiffbaren Teil des Gewässers mit einer großen Öffnung (Textfig. 19, 75, 179, 188 und 232), oder zerlegt die bewegliche Brücke in meist zwei vollständig symmetrische Teile (Taf. I, Fig. 15 bis 18; Textfig. 45, 46, 71, 72, 75, 77 bis 79, 81, 83 und 120 und Fortschrittsheft Fig. 55^a u. 57), wodurch man zwei leichte und dadurch rasch bewegliche Brücken erhält. — Selbst im Falle der Beschädigung einer Hälfte läßt sich dann wenigstens der Schiffsverkehr aufrecht erhalten.

Haben sowohl Wasser- wie Landstrafse sehr bedeutenden Verkehr, so können zwei bewegliche Brücken angeordnet werden, welche 130 bis 140 m, d. h. etwa andert-halb Längen eines mittleren Dampfers voneinander entfernt sind; auf diese Weise ist der Schiffsverkehr niemals unterbrochen und stets eine Brücke in Dienst für den Landverkehr. Diese Lösung empfiehlt sich auch für zweigleisige Eisenbahnen, weil man statt einer schweren zwei leichte und damit leicht bewegliche Brücken erhält, die große Betriebssicherheit gewährleisten, indem selbst bei einem Unfall stets ein Gleis betriebsfähig bleibt (vergl. § 84).

Die Brückenachse soll, wenn irgendwie möglich, die Flußrichtung rechtwinklig kreuzen, weil so die kürzeste und damit leichteste Brücke erhalten wird. Doch wurden in neuester Zeit mehrfach auch sehr große Brücken ziemlich schief über die Stromrichtung geführt; z. B. die viergleisige 118,6 m lange Eisenbahndrehbrücke über den Harlemfluß unter 45° (Fortschrittsheft S. 34 und Fig. 43; vergl. auch Textfig. 81 und 82). Der eiserne Überbau wird hierbei jedoch, mit wenigen Ausnahmen (Baaken-

¹⁾ Vergl. H. Schemfil. Die neuesten Kanal- und Hafen-Werkzeuge in Frankreich und England. Wien 1882, S. 41 mit Taf. VII bis IX.

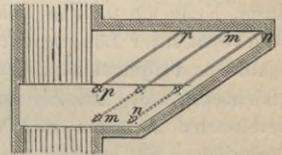
brücke in Hamburg, Fortschrittsheft S. 12, Fig. 16) meist rechtwinklig ausgeführt (Fortschrittsheft S. 35, Fig. 43 und Textfig. 81).

Eigentümliche Anordnungen gestatten diejenigen Brücken, welche lediglich für die Zwecke der Landesverteidigung beweglich hergestellt werden. In diesem Falle wird von der Beweglichkeit des Überbaues nur selten Gebrauch gemacht und es dürfen deshalb Einrichtungen getroffen werden, welche bei gewöhnlichen beweglichen Brücken als zu viel Zeit raubend unzulässig sein würden. (Siehe z. B. die Thalübergänge der österreichischen Südbahn, § 4.)

A. Roll- oder Schiebebrücken.

§ 3. Konstruktionsgrundgedanke. Das Tragwerk der gewöhnlichen Rollbrücken erhält eine grössere Länge als die zu überspannende Öffnung und es wird der auf dem Lande verbleibende Teil so schwer gemacht, daß bei vorgeschobener Brücke der Schwerpunkt noch vom Landpfeiler unterstützt bleibt. Die Bewegung der Brückenbahn erfolgt in wagerechter Lage hin und zurück und zwar meist in Richtung der Brückenachse. Doch sind auch Konstruktionen ausgeführt, bei welchen die Brücke in schräger Richtung auf drei Schienensträngen mm , nn , pp (Textfig. 1) zurückgerollt werden kann (einfacherer Anschluß an die feste Bahn, dagegen mehr Platz erforderlich und kostspieliger). Als eine derartige Anordnung aus neuester Zeit siehe die Rollbrücke in der Westchester Avenue (New York), deren Antrieb durch einen Elektromotor von 25 Pferdekraften erfolgt. (Litt. 25 nach § 12.) —

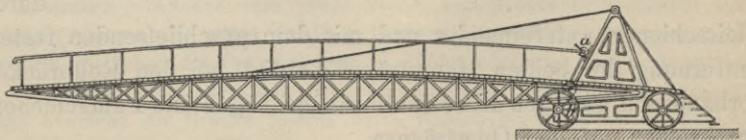
Fig. 1.



Die Rollbrücken werden meist einfach gemacht; doch kommen auch doppelte Rollbrücken vor, deren in der Mitte zusammenstossende Hälften durch besondere bewegliche Streben oder Säulen gestützt werden müssen (vergl. § 7). Bei den in neuester Zeit zur Ausführung gelangten (Textfig. 8) oder in Vorschlag gebrachten Doppelrollbrücken (Fortschrittsheft Fig. 57 f, S. 43) ist eine derartige Abstützung nicht durchführbar und müssen die beiden Rollbrückenhälften durch eine Fingervorrichtung (vergl. Textfig. 68 f, § 32), oder einen Riegel (vergl. Textfig. 67, § 32) derart verbunden werden, daß sie im betriebsfähigen Zustand die hereinrückende veränderliche Last gemeinsam aufnehmen, wodurch allerdings in das Haupttragssystem eine statische Unbestimmtheit kommt.

§ 4. Rollbrücken mit Fahrbahn oben. Die Konstruktion der Rollbrücken gestaltet sich wesentlich verschieden, je nachdem die Fahrbahn oberhalb der Hauptträger oder möglichst tief zwischen dieselben zu liegen kommt. Im ersten Falle bietet die Beschaffung des freien Raumes zum Zurückrollen der Brücke Schwierigkeiten, welche man auf verschiedene Weise zu überwinden gesucht hat.

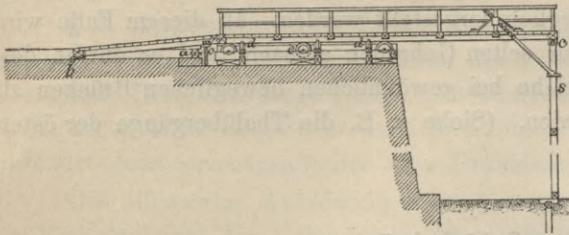
Fig. 2. Fußsteg, Surrey-Docks. M. 1 : 250.



Bei Fußstegen ist die Lösung nicht schwierig, wenn man die Fußgänger einige Stufen oder eine Rampe (Textfig. 2) bis zur Brückenplanie steigen läßt.

Auch bei Strafsenbrücken findet man die Unterkante der Hauptträger höher als die Uferplanie gelegt, wobei der Höhenunterschied zwischen der festen und der beweglichen Fahrbahn entweder durch

Fig. 3. *Doppelte Rollbrücke.*



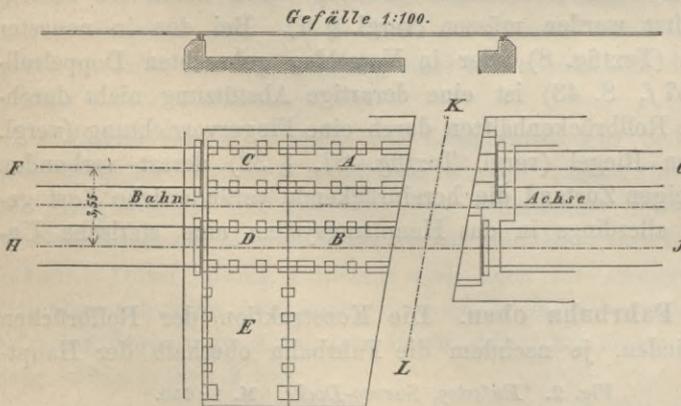
weglichen Fahrbahn entweder durch eine an der Brücke selbst befestigte, schräg anlaufende Klappe, oder wie in Textfig. 3 durch eine um die Angeln *b* bewegliche, durch die Schrauben *c* anzuhebende und durch herausnehmbare Schwellen *a* zu stützende Pritsche vermittelt wird.

Dagegen können selbstverständlich derartige schiefe Ebenen bei Eisenbahn-Rollbrücken nicht angewendet werden. Es sind hier verschiedene Lösungen versucht worden.

Der Eisack-Viadukt der österreichischen Südbahn hat einen 64 m (20 + 24 + 20 m) langen Brückenteil, welcher auf einem festen und drei beweglichen Lagern ruht. Das feste Auflager am Mittelpfeiler ist lüftbar; die Rollenlager mit je drei bzw. zwei Rollen sind so eingerichtet, daß je eine Rolle durch Keile um 0,03 m gehoben werden kann. Die gehobenen Rollen dienen zur Verschiebung der Brücke in ihrer Längsrichtung; die Bewegung der Gitterträger wird an denselben mittels Ratschenschlüssels vorgenommen. Für gewöhnlich lagert jedoch die geschlossene Gitterbrücke auf den Rollen gleichzeitig auf. Die Zeitdauer für die Bewegung der Brücke hin und her beträgt samt allen vorbereitenden Arbeiten und Wiederherstellungen 5½ Stunden und es sind hierzu 60 bis 64 Mann erforderlich. Es leuchtet ein, daß diese auch bei einem 25,8 m langen Stücke des Franzensfest-Viaduktes angewandte Konstruktion nur bei solchen Rollbrücken genügt, welche selten (aus Kriegsgründen) bewegt werden.

Eine andere Lösung zeigt die von Bendel konstruierte Rollbrücke der rechtsrheinischen Bahn vor dem Pfaffendorfer Thor in Koblenz (Textfig. 4). Die beiden ungleich langen Rollbrücken *A* und *B*, welche auf je 1,726 m von Mitte zu Mitte entfernten Schienen laufen, können

Fig. 4. *Rollbrücke, Koblenz.* M. 1 : 330.



nach senkrechter seitlicher Verschiebung der beiden, auf 3,61 m von Mitte zu Mitte entfernten Schienen laufenden Rollwagen *C* und *D* zurückgerollt werden. In betriebsfähigem Zustande werden die zu einander gehörigen Rollbrücken und Rollwagen durch Riegel, sowie durch die

Gleisschienen untereinander und mit dem anschließenden festen Gleise verbunden. Die Entfernung der beiden Hauptträger beträgt bei den Rollbrücken 2,04 m. Wegen der vorhandenen geringen Konstruktionshöhe liegen die Fahrschienen mittels Unterlagsplatten unmittelbar auf den Querträgern.

Bei der zweigleisigen Severn-Brücke der Tewkesbury-Malvern Eisenbahn werden zur Beschaffung des Platzes für das Zurückrollen der Brücke entsprechend lange Stücke der Schienenstränge des Landgleises samt den dasselbe stützenden Trägern gegeneinander um 90 Grad in die Wagerechte geklappt (Litt. 13 nach § 12). — Der bewegliche

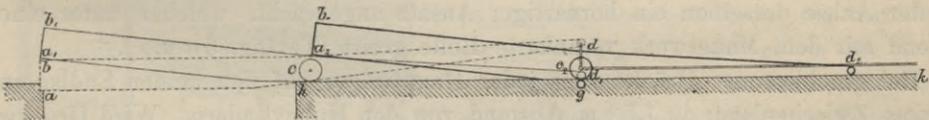
Teil der Severn-Brücke überspannt durchlaufend zwei Öffnungen von 13,5 m Lichtweite mit einem 2,4 m dicken Zwischenpfeiler. Diese Konstruktion eignet sich jedoch wenig für Eisenbahnbrücken, da die beweglichen Hauptträger (deren Länge das Dreifache der zu überbrückenden Öffnung betragen muß) hier unsicher auf Rollen gelagert bleiben und beim Befahren stark erschüttert werden. Aus diesem Grunde ist die nach ähnlicher Konstruktion ausgeführte Shannon-Brücke der Midland Great-Western Eisenbahn in Irland in eine Klappbrücke verwandelt worden.)

Befindet sich die Rollbrücke nicht unmittelbar am Lande, sondern zwischen festen Überbauten einer längeren eisernen Brücke, so kann eine Anordnung wie die am Kent-Viadukt der Ulverstone-Lancaster Eisenbahn Anwendung finden. Die Fahrbahn der anschließenden festen Öffnung besteht aus nebeneinander gelegten I-Trägern, welche die Brückenschienen tragen. Der bewegliche Überbau wird in geschlossenem Zustande am vorderen Ende von festen Lagern, am hinteren Ende durch Exzenter und außerdem, in der Mitte, durch eine Rolle gestützt. Soll die Brücke geöffnet werden, so senkt man die Exzenter in ihre tiefste Stellung und verschiebt die Brücke mit Hilfe eines Zahnrades, welches in eine entsprechende Zahnstange angreift. Das vordere Ende des beweglichen Überbaues senkt sich nun infolge des Übergewichtes und es rollt die Brücke, von den Rollen gestützt, herab, wobei das hintere Ende sich gegen gufseiserne, an den Pfeilerröhren angebrachte Stützen lehnt. Die Konstruktion soll sich sehr gut bewähren. (Litt. 13 nach § 12.)

Weniger einfach gestaltet sich die Anordnung, wenn man die Rollen nicht fest auf den Pfeilern lagert, sondern an dem beweglichen Überbau selbst anbringt, wie dies bei dem Leven-Viadukt derselben Eisenbahn der Fall ist. Es müssen dann als Bahn für diese Laufrollen besondere Gitterträger angebracht werden, die unter der Rollbrücke liegen und von besonderen Querträgern zwischen den eisernen Pfeilersäulen getragen werden.

§ 5. Rollbrücken mit Fahrbahn unten. In diesem Falle bietet die Beschaffung des freien Raumes für das Zurückschieben der Rollbrücke geringere Schwierigkeit. Eine beachtenswerte Eisenbahnbrücke dieser Art ist die im Barmouth-Viadukte der Cambrian Eisenbahn (Textfig. 5 und Litt. 4 nach § 12).

Fig. 5. Rollbrücke im Barmouth-Viadukte.



Jeder der beiden Hauptträger abd ist um die Achse c eines Laufräderpaares drehbar und kann mit Hilfe dieser Räder längs des Gleises $h g k$ zurückgerollt werden. Zu diesem Zwecke ist an der Spitze d jedes Trägers eine Rolle angebracht, die sich an die untere Seite der rechtwinklig umgebogenen Leitschiene $d c_2 d_2$ lehnt. Die Laufräder c befinden sich etwas rechts vom Brückenschwerpunkte nach der Spitze d zu, sodass die Träger immer von selbst in die Schlußstellung einzufallen suchen. Will man die Brücke öffnen, so werden zunächst die Enden d nach d_1 niedergedrückt; hierbei kommt ein Getriebe g mit dem an der Unterkante der dreieckigen Trägerverlängerung angebrachten gezahnten Rande in Eingriff und es kann nunmehr die Brücke mittels eines Windenvorleges bis in die Lage $a_1 b_1 d_1$ zurückgerollt werden, wobei die Rolle d sich von unten gegen das wagerechte Stück der Leitschiene $c_2 d_2$ andrückt. Um die Brücke zu schließen, verfährt man in umgekehrter Reihenfolge.

Die eben beschriebene Rollbrücken-Konstruktion, bei welcher der bewegliche Brückenteil auf der Planie der angrenzenden festen Brücke zurückgerollt wird (Überrollbrücke), hat gegenüber den früher angegebenen Konstruktionen, bei welcher den

bewegliche Überbau unter die anschließende feste Brücke geschoben wird (Unterrollbrücke), folgende Vorteile: 1. Die Hauptträger senken sich in ihrer Schlußstellung von selbst auf feste Lagerplatten herab und brauchen nicht erst durch Exzenter oder ähnliches angehoben zu werden; 2. die Rollbrücke braucht keine geringere Breite als die anschließende feste zu haben, daher auch sichere Parallelführung; 3. der Querverband der anschließenden festen Brücke wird nicht gestört; 4. besondere Rollen sowie Zwischenpfeiler für die Hauptträger der Rollbrücke werden erspart.

Zu den Überrollbrücken gehören auch mehrere englische, unmittelbar am Landpfeiler angeordnete Rollbrücken, bei welchen der Höhenunterschied zwischen Brückenplanie und Hauptträger-Unterkante durch Heben des Brückenendes vor dem Zurückschieben ausgeglichen wird (zuerst wohl von Brunel 1852 bei der Toweys-Brücke bei Carmathen angeordnet). Hier zu nennen ist auch die Toweys-Brücke zu Swansea, welche drei Spannweiten zu 18 m besitzt, von denen zwei mit einer ununterbrochenen Rollbrücke überdeckt sind. Die Planie hat eine Ansteigung von 1:56. Um die Brücke zu öffnen, wird das landabwärts gekehrte schwerere Vorderende gesenkt, die Brücke kippt um den Zwischenpfeiler, das Landende hebt sich so, daß der Überbau über feste Rollen auf dem Lande zurückgeschoben werden kann.

Bei anderen, später gebauten Brücken (Sunderland-Hafen, Milwall-Dock zu London) ist nicht das vordere, sondern das hintere Ende schwerer gehalten. Zur Erläuterung dieses Systems diene die Beschreibung der vor rund 30 Jahren nach der Konstruktion von Armstrong ausgeführten, 370 t schweren, 48,36 m langen Rollbrücke in der Kattendyk-Seeschleuse zu Antwerpen (Textfig. 6, S. 7), welche eine lichte Durchfahrt von 27,5 m überspannt.

Die Fahrbahn besteht aus Holzpflaster auf 1 cm starker Asphaltenschicht, die von einer Kieferbohlentafel auf 3,66 m voneinander abstehenden eisernen Querträgern getragen wird. In Abständen von 30,28 m vom vorderen bzw. 18,08 m vom hinteren Ende befindet sich unter jedem Hauptträger ein lotrechter Wasserdruck-Cylinder mit 0,793 m dicken Plungerkolben. Jeder der letzteren trägt an seinem Kopfe eine Rolle von 1,10 m Durchmesser, welche um 0,965 m gehoben werden kann. Infolge eines am Hinterende angebrachten Gegengewichtes von 106,2 t liegt der Schwerpunkt der Brücke 0,39 m landeinwärts von den genannten Druckcylindern. An dem Vorderende der Brücke ist in der Achse derselben ein hornartiger Ansatz angebracht, welcher unter eine entsprechend mit dem Mauerwerk verankerte Rolle greift (Textfig. 6 a u. c).

Bei geschlossener Brücke ruht jeder Hauptträger auf den beiden Endlagern und auf einem Zwischenlager in 1,53 m Abstand von den Hubcylindern. Wird Druckwasser von 50 Atmosphären in diese Cylinder eingelassen, so hebt sich das Hinterende der Brücke, während der hornartige Ansatz am Vorderende mit 4,8 t von unten gegen die verankerte Rolle drückt.

Zum Zurückrollen der Brücke dient eine Wasserdruck-Vorrichtung (siehe § 11). Hierbei bleibt jeder Hauptträger gestützt von der Rolle auf dem lotrechten Hubcylinder und von je zwei Rollen in der Verlängerung des Trägers auf dem Lande. Zur Führung bei dieser Bewegung dienen an den Träger-Untergurten befestigte $0,23 \times 0,029$ m Stahlflachschielen.

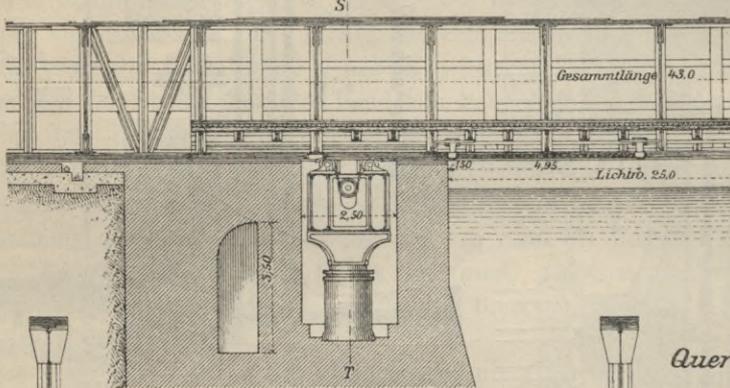
Mit Rücksicht auf die mögliche Krümmung der Hauptträger bei ungleicher Erwärmung derselben ist die Hebung der Hinterenden reichlich groß gewählt. Um jedoch hierbei Stöße bei Aufsetzen der Hinterenden zu vermeiden, dient die Neigung jener Ebenen, mit welcher sich das Horn an die verankerte Rolle andrückt. Sobald

Tonne Schweißeisen, 116,3 M. für die Tonne Gufseisen, 176,6 M. für den Kubikmeter Eichenholz, 20 M. für den Quadratmeter Holzpflaster einschliesslich Asphalt. Die in obiger Summe nicht mit inbegriffene Bewegungsvorrichtung (s. § 11) kostete 56600 M. (Litt. 12 nach § 12.)

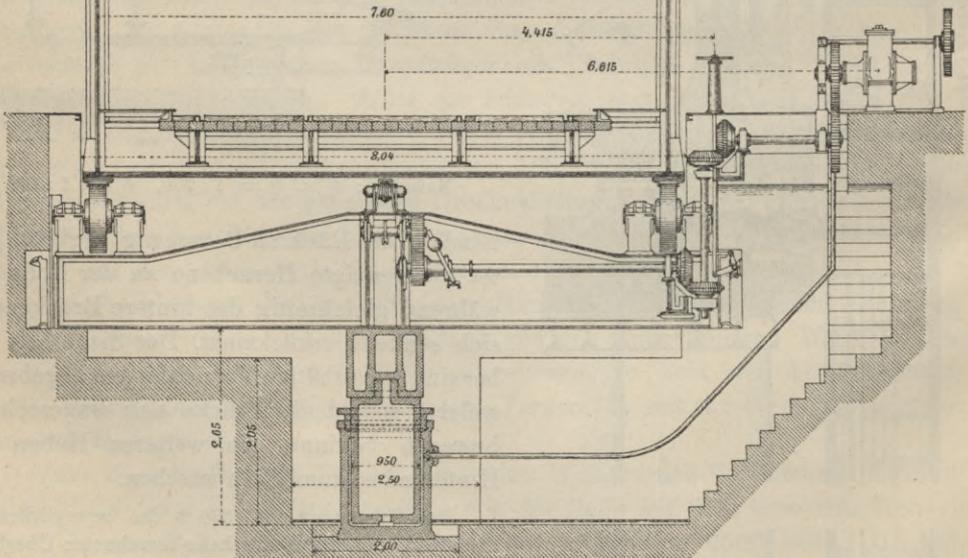
Eine neuere Konstruktionsform für Rollbrücken zeigt die nach Anordnung des Oberingenieurs Kerviler ausgeführte Brücke über die Penhouët-Schleuse zu Saint-Nazaire (Textfig. 7 und Litt. 16 nach § 12). Dieses für zweigleisigen Eisenbahn- und auch Strafsenverkehr ausgeführte Bauwerk besitzt bei 25 m Lichtweite 43 m lange, 7,6 m voneinander abstehende Hauptträger, zwischen denen sich 0,65 m hohe Querträger in je 3,6 m Abstand befinden. Gesamtgewicht 300 t einschliesslich der 80 t Gegengewicht am Hinterende.

Fig. 7. Rollbrücke über die Penhouët-Schleuse, St. Nazaire. Mafsstäbe: a) = 1 : 200, b) = 1 : 100.

a.) Längenschnitt u. Schnitt.



b.) Querschnitt S T.



In 28 m Abstand vom Vorder- beziehentlich 15 m Abstand vom Hinterende befindet sich, in einer Vertiefung der Schleusenammer und in der Brückennachse stehend, ein 1 m hoher Cylinder, dessen 0,90 m dicker Kolben mittels eines gufseisernen Druckhauptes einen starken Hauptquerträger von 8 m Länge und 2 m Breite trägt. In den vier Ecken des letzteren sind vier lotrecht stehende feste Rollen angebracht. Wird nun in den Cylinder Druckwasser von 50 Atmosphären eingepresst, so hebt sich der Hauptquerträger und mit ihm der ganze eiserne Überbau um 0,95 m, wobei letzterer nur von den vier

erwähnten Eckrollen gestützt bleibt. Nachdem hierauf vier gleichzeitig zu bewegendende Pendelstützen unter den Hauptquerträger untergeschoben worden sind, senkt man letzteren um einige Centimeter, bis derselbe auf den Stützen aufsitzt, wodurch der Druckkolben entlastet wird. In diesem Zustande kann der eiserne Überbau auf die am Lande befindlichen festen Rollen zurückgeschoben werden. Hierzu dient ein Druckwasser (Brotherhood), Winde (Fig. 7 b), welche durch Vermittelung von Wellen und Zahnrädern den im Mittelpunkte des Hauptquerträgers angebrachten Trieb und durch diesen eine mit ihren beiden Enden an dem eisernen Überbau befestigte Gall'sche Kette in Bewegung setzt. Heben und Zurückrollen der Brücke erfordert 4 Minuten. Selbsttätige Vorrichtungen gestatten weder übermäßiges Heben noch desgl. Vorrollen.

Diese Brückenkonstruktion zeichnet sich durch große Einfachheit und leichte Zugänglichkeit aller Teile aus. Gegenüber dem in England üblichen System Armstrong (vergl. oben die Beschreibung der Antwerpener Rollbrücke, Textfig. 6) haben die Hauptträger nicht in rascher Folge Inanspruchnahmen entgegengesetzten Vorzeichens auszuhalten, was notwendigerweise stärkere Querschnitte bedingt. Auch kann bei zwei Hebecylindern ein geringer Wasserdruck-Unterschied in beiden zu Verwindungen der Brücke Veranlassung geben.

Ein Bedenken könnte bezüglich der Stehsicherheit der gehobenen und nur auf vier Rollen ruhenden Brücke entstehen. Die Erfahrung hat jedoch gezeigt, daß die täglich benutzte Brücke sich gut bewährt. Nach Angabe des Oberingenieurs Kerviler stellen sich derartige zweigleisige Brücken bei 20 bis 30 m Lichtweite einschließend der Bewegungsvorrichtung auf 8000 M. f. d. lfd. Meter Lichtweite (Preise vom Jahre 1885).

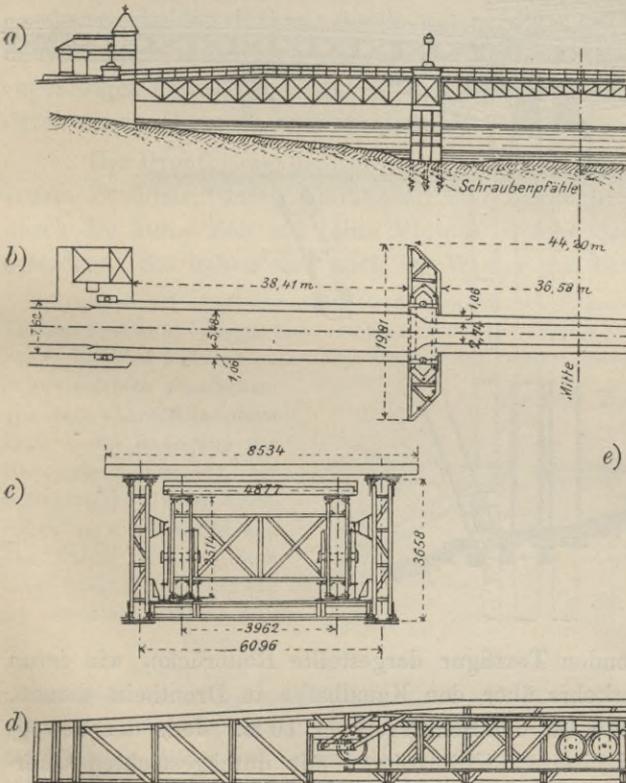
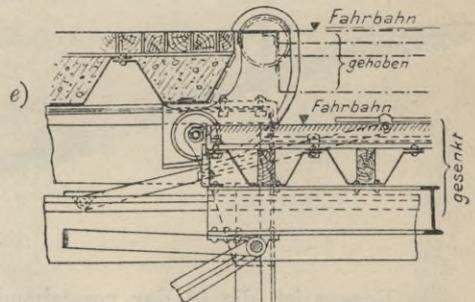


Fig. 8.
Rollbrücke über den Dee-Fluss bei Victoria (England).

Maßstäbe:

- a) u. b) = 1 : 1000.
- c) = 1 : 200.
- d) = 1 : 333.
- e) = 1 : 40.

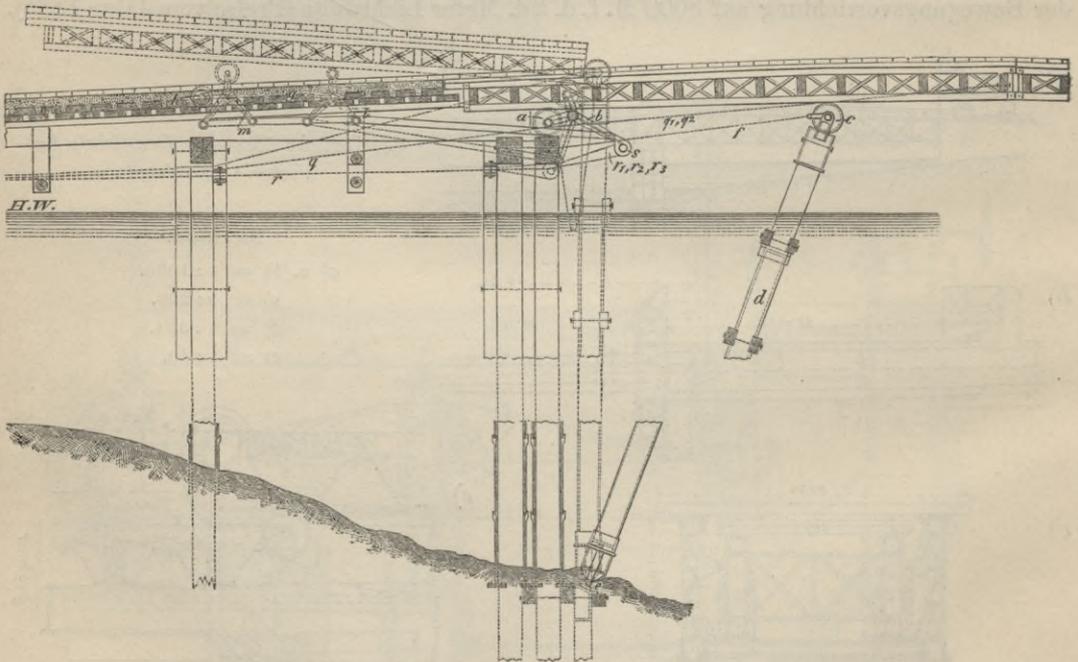


§ 6. Rollbrücken mit längs- und höhenverschieblicher Fahrbahn (Litt. 23 nach § 12). Bei nachstehend dargestellter Rollbrücke besteht die mittlere Öffnung aus zwei in der Mitte zusammenstossenden Teilen von je 18,3 m Länge, die in die beiden

kastenförmigen Seitenöffnungen hineingeschoben werden. Deshalb ist die Fahrbahn der mittleren Teile derart beweglich angeordnet, daß beim Ein- und Ausschieben sich die Plattform selbsttätig hebt und senkt. Zu diesem Zweck wird sie von einer Anzahl von Armen getragen, die ein Parallelfachwerk bilden, und mit deren innersten Gliedern ein Gegengewicht verbunden ist. Eine Kurvenführung (Textfig. 8e) macht die Hebung und Senkung zwangsläufig. Die verschiebbaren auf je 6 Rollenpaaren laufenden Brückenhälften werden durch Wasserdruckcylinder von 203 mm Durchmesser und 3,5 m Hub, die wagerecht gelagert an den Querträgern der festen Überbauten befestigt sind, angetrieben. Das von einer Dampfmaschine im Brückenhaus auf 50 Atmosphären gepresste Druckwasser wird unter Einschaltung eines Kraftsammlers zugeleitet. Sämtliche Druckwasservorrichtungen sind in doppelter Ausführung vorhanden. Die Kosten der 1897 eröffneten Brücke betragen 280000 M.

§ 7. Rollbrücken mit Stützstreben. Wie bereits erwähnt, werden doppelte Rollbrücken mit Stütz-Streben oder -Säulen konstruiert. Eine ältere derartige Brücke zu Havre, von 13 m Lichtweite und 4,5 m Breite, zeigt Textfig. 3 (S. 4). Die in *c* drehbaren Stützen werden vor dem Zurückrollen in die Höhe gehoben, damit kein Schleifen auf dem Kanalboden stattfindet.

Fig. 9. Rollbrücke, Drontheim (Längsschnitt). M. 1 : 100.



Ferner ist die in der vorstehenden Textfigur dargestellte Rollbrücke, wie deren drei zur Vermittelung des Straßenverkehrs über den Kanalhafen in Drontheim dienen, hervorzuheben. Freie Durchfahrtsweite für den Schiffsverkehr 10 m. Jede der beweglichen Brückenhälften wird aus drei eisernen Gitterträgern mit durchgesteckten Querträgern und doppeltem Längsbelag (für die Fahrbahn), beziehentlich einfachem Querbelag auf Längszwischenträgern (für die Fußwege) gebildet. In geschlossenem Zustande ruhen die drei Hauptträger auf den Rollen *c* der von den Ketten *f* gehaltenen, drehbaren Stützen *d*, sowie auf den Rollen *a*, welche sich an den kürzeren Armen der drei

Winkelhebel b befinden. Letztere sind über den hölzernen Pfahljochen drehbar gelagert. Werden die Winkelhebel b durch den Zug der Ketten r auf den drei an den längeren Armen von b befindlichen losen Rollen s umgeschlagen, so gehen die Rollen a in die Höhe und heben hierdurch auch die landseitigen Enden der beweglichen Brückenbahn. Gleichzeitig tauchen aus den Fußgängerwegen der anschließenden festen Brücke jederseits die Rollen g, h , welche sich an den kürzeren Armen der Hebel l, m befinden. Die längeren Arme der letzteren sind nämlich durch Gelenkstangen so mit den Winkelhebeln b verbunden, daß sie den Bewegungen derselben folgen müssen. Dann rollt die Klappe auf der durch die Rollen c, a, g, h bezeichneten, etwa 1:14 geneigten Ebene rückwärts in die Höhe und zieht durch (in der Figur weggelassene) Ketten die Streben d zurück.

Zur Bewegung der Brücke dient der 5 bis 7 Atmosphären betragende Druck der städtischen Wasserleitung. Über die am Ende der Kolbenstange des (in der Textfig. 9 nicht sichtbaren) Wasserdrukcyinders befindliche lose Rolle läuft die Kette qr . Das Kettentrum q zweigt sich in die am Vorderende der beweglichen Brückenhälfte befestigten zwei Zweige q_1, q_2 ; das Kettentrum r dagegen spaltet sich in die drei Zweige r_1, r_2, r_3 , welche auf die drei losen Rollen s wirken, die sich am Ende der längeren Arme der Winkelhebel b befinden. Wird der Kolben o durch Wasserdruck zurückgezogen, so bleibt zunächst q unbeweglich, während das hintere Ende durch r angehoben wird. Hierauf bleibt das am Ende seiner Bewegung angelangte r unbeweglich und die Brücke wird durch q zurückgerollt.

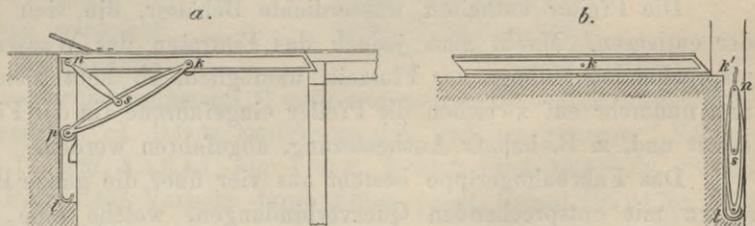
Die beiden Hähne, durch welche die zwei Cylinder der beiden Brückenhälften bedient werden, befinden sich, indem der eine von ihnen durch einen Düker mit dem zugehörigen Cylinder verbunden ist, auf demselben Ufer, und können daher nacheinander durch einen Mann besorgt werden.

Die Drontheimer Brücken zeichnen sich durch sichere Unterstützung in geschlossenem Zustande, durch Einfachheit und Zugänglichkeit der Bewegungsvorrichtung und durch die kurze Zeit aus (eine Minute), welche das Öffnen oder Schließen der Brücke erfordert. Sie haben sich auch im Winter gut bewährt. Gesamtkosten 23000 M.

Auch bei einfachen Rollbrücken können Stützstreben mit Nutzen Anwendung finden. Die Textfig. 10 a u. 10 b zeigen eine von Guthrie angegebene Konstruktion. Die Hauptträger werden in ihren Schwerpunkten k durch gußeiserne Streben unterstützt; diese sind in der Art mittels Gelenken in ihren Schwerpunkten s aufgehangen,

daß, während das obere Ende k die Bewegung der Hauptträger mitmacht, der Schwerpunkt s einen Kreisbogen um n beschreibt und das untere Ende p sich längs einer festen Führung pt verschiebt. Wählt man die Form der Führungsschiene pt derart, daß in jedem Augenblicke der Schwerpunkt des bewegten Systems⁷ (Brückenbahn + Streben) in derselben Wagerechten bleiben, so ist bei dem Verschieben der Brücke keine weitere mechanische Arbeit als die durch die Rollen- und Zapfenreibung bedingte zu leisten. Deren statische Untersuchung s. 1. Aufl. 1882, oder Litt. 13 nach § 12.

Fig. 10. Rollbrücke nach Guthrie.

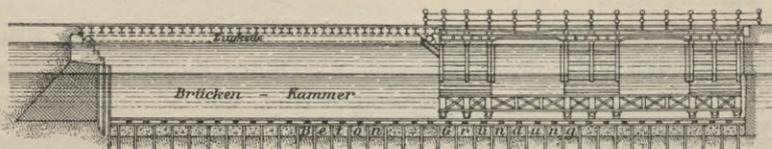


§ 8. Rollbrücken mit im ganzen verschieblichem Tragwerk bei fest eingebauter Fahrbahn. In neuester Zeit wurden in den vereinigten Staaten Nordamerikas für die Überquerung des 76,2 m breiten Duluth-Schiffahrtskanales mehrfach Rollbrücken

in Vorschlag gebracht, bei sehr hohen Verkehrsanforderungen an die Brücke selbst. Nach dem einen Entwurf (Fortschrittsheft S. 82 u. S. 43, Fig. 57e) soll der 163 m lange Fachwerksträger samt den eingebauten Fahrbahntafeln, ein Gewicht von 1200 Tonnen, durch eine 116 pferdige Zwillingdampfmaschine in 1 Minute hinaus- oder zurückgerollt werden. Kostenvoranschlag 991200 M. Ein anderer Entwurf (Fortschrittsheft S. 82 γ. und S. 43, Fig. 57f) sieht zwar getrennte Rollbrücken vor, die symmetrisch beim Öffnen oder Schließen der Brücke gegen die Ufer zurück- oder herausgerollt werden. Im geschlossenen Zustande sind beide Brückenhälften in der Mitte durch starke Zapfen aus Phosphorbronze verbunden (vergl. z. B. Textfig. 67), die vor dem Öffnen durch ein von den Hauptpfosten jeder Brückenhälfte ausgehendes Schraubenge triebe mittels Dampfkraft zurückgezogen werden. Jede Brückenhälfte wird durch bewegliche Gegengewichte derart im Gleichgewichte gehalten, daß (ohne Berücksichtigung der Windwirkung) die Reibungswiderstände allein zu überwinden sind. Als Gesamtkosten werden, je nach der Höhe der Fahrbahntafel über Wasserspiegel, zwischen 588000 und 798000 M. angegeben.

§ 9. Rollfähren. Bei einigen später ausgeführten Brücken wird nicht nur der Überbau, sondern mit diesem gleichzeitig auch der stützende Unterbau (die Pfeiler) verschoben, wobei die Rollbahn auf der Sohle des zu überschreitenden Gewässers liegt.

Fig. 11. Hafeneinfahrt zu Greenock. M. 1:800.



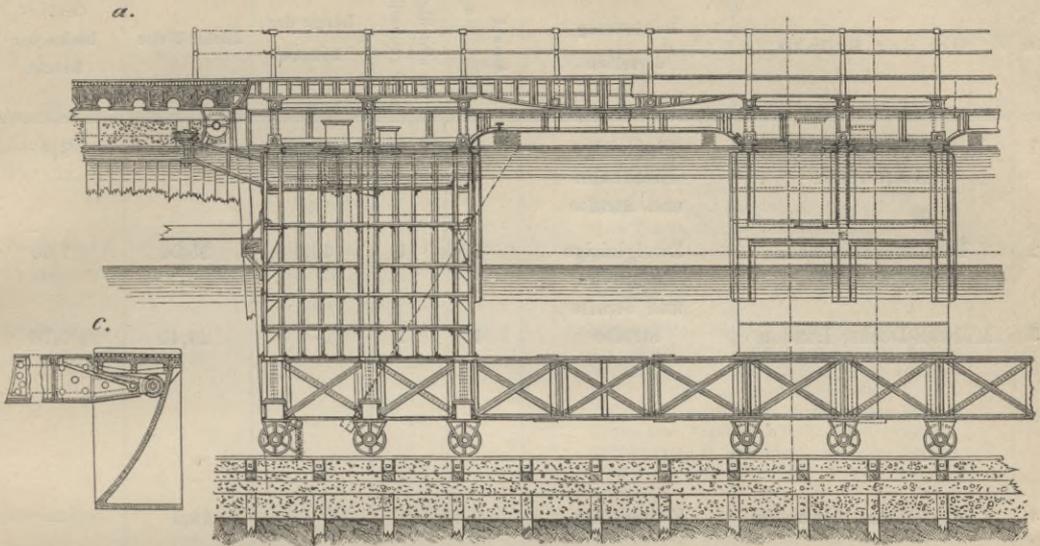
Vorstehende Textfig. 11 sowie die Textfig. 12 stellen Kinipple's 31,4 m lange Rollbrücke dar. Drei parallelepipedische Blechpfeiler von 5,64 und 5,64 m Seite, jeder auf 6 Rollen ruhend, sind miteinander an ihren unteren Enden durch zwei 1,60 m hohe Gitterträger und kastenförmige Querträger verbunden, während am oberen Ende der Verband durch seitliche, 0,71 bis 1,02 m hohe Blechträger hergestellt wird. Das so gebildete feste Gerüst läßt sich im ganzen auf einem Sohlengleise, das von einem Pfahlrost mit Betonbett getragen wird, verschieben.

Die Pfeiler enthalten wasserdichte Behälter, die sich beim Flutwechsel füllen oder entleeren. Macht man jedoch das Eintreten des Wassers, durch Schließen von entsprechenden Hähnen zur Flutzeit, unmöglich, so hebt sich die ganze Brücke und kann nunmehr auf zwischen die Pfeiler eingefahrene (in der Figur angedeutete) Pontons gesetzt und, z. B. behufs Ausbesserung, abgefahren werden.

Das Fahrbahngerippe besteht aus vier über die ganze Brücke reichenden Längsträgern mit entsprechenden Querverbindungen, welche eine Blechtafel tragen. Alle vier Längsträger sind nicht fest mit den Blechpfeilern verbunden, sondern in der in Fig. 12a gezeigten Weise durch oben und unten drehbare Stelzen getragen. Hierdurch ist die Möglichkeit gegeben, wenn die Brücke, um die Hafeneinfahrt frei zu machen, mittels einer Kette ohne Ende in die seitliche Uferkammer (Fig. 12a links) hineingerollt werden soll, die ganze Fahrbahn um ein gewisses Stück zu senken. Es legt sich hierbei, mit Hilfe der angedeuteten Parallelführung, die durch ein Gegengewicht im Gleichgewichte erhaltene Fahrbahn samt Geländer vollkommen um. Die seitliche Uferkammer ist selbstverständlich oben überdeckt (Fig. 12a).

Fig. 12. Rollbrücke, Hafen zu Greenock. M. 1 : 200.

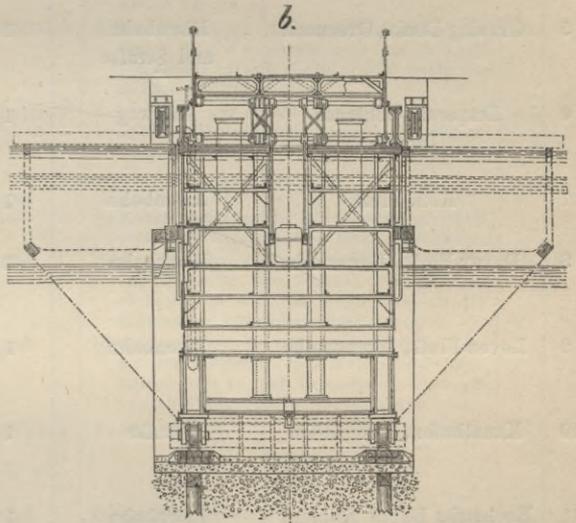
a. Längenschnitt. b. Querschnitt.



Beim Herausrollen der Brücke stößt ihr in Fig. 12 c gezeichnetes Vorderende mittels Rollen gegen eine entsprechend geformte gufiserne Platte, wodurch wieder ein Heben des gesenkten Überbaues bis zur Planiehöhe bewirkt wird.

Das Öffnen der Brücke erfolgt durch Wasserdruck in 3 Minuten.

Eine ferner hier zu erwähnende Anlage ist die zwischen St. Servan und Malo in Frankreich. Eine von einem 10,85 m hohen, 4 m langen und 4 m breiten eisernen Gerüste getragene $7,0 \times 6,0$ m große Bühne wird auf einem Schienengleise, das in geeigneter Weise auf einem niedrigen Grunddamme im Wasser angeordnet ist, durch feststehende Dampfmaschine und Zugseil auf rd. 100 m Entfernung hin und her gezogen. Näheres siehe Litt. 6 u. 18 nach § 12, Taf. XXXVI, Fig. 1 u. 2. Kosten rund 45000 Fr. Vergl. auch Imray's ähnliches Patent für Verkehr durch Flüsse (engl. Patent 1872, No. 1489 und Mech. Magazine 1872, S. 494).



§ 10. Rollbrücken mit festliegenden Hauptträgern und angehängter Fahrbahn (hängende Fähren). Eine derartige Konstruktion wurde bereits öfters in Vorschlag gebracht: So die Entwürfe von Mills und Twymann zur Überschreitung der Themse (Litt. 9 nach § 12) und von Smith zu einer hängenden Fähre über die Tees in Middlesborough (Litt. 5 nach § 12). Erstmals und gleich großzügig kam diese Konstruktion jedoch erst 1893 beim Bau der Fähre von Portugalete (Spanien) zur Ausführung. Näheres folgt erst im § 100.

Tabelle I. Zusammenstellung verschiedener

No.	Ort der Brücke	Bestimmung derselben	Anzahl Öffnungen		Länge der Brücke m	Lichte Weite m	Gesamtbreite der Brücke m
			Ob einteilig	oder zweiteilig			
1	Kattendyk-Seeschleuse, Amsterdam	Eingleisige Eisenbahn und Strafe	1	1	48,36	27,50	8,8
2	Penhouët-Schleuse, St. Nazaire	Zweingleisige Eisenbahn und Strafe	1	1	43,0	25,00	7,60
3	Millwall-Docks, London	Strafe	1	1	—	24,40	9,76
4	Towey-Brücke, Swansea	Zweingleisig	1	1	—	18,3	—
5	Graving-Dock, Greenock	Eisenbahn und Strafe	1	1	31,4	18,3	4,96
6	Duquesne-Schleuse, Dieppe	Fußweg	1	1	31,25	16,50	2,04
7	Kent-Flufs	Eisenbahn	1	1	24,0	11,4	5,76
8	Dovey-Flufs, Barmouth	Eisenbahn	1	1	—	10,68	6,55
9	Leven-Flufs, Morecombe	Eisenbahn	1	1	—	9,15	—
10	Kanalhafen, Drontheim	Strafe	1	2	2 × 7,13	1 × 10	9,4
11	Rechtsrh. Bahn, Koblenz	Eisenbahn	1	1	8,83	3,2	2,22
12	Dee-Flufs, England	Strafe	1	2	2 × 18,80	36,58	4,88 des bewegl. Teiles

§ 11. Bewegungsvorrichtungen. Erforderliche Bewegungskraft. Bei sehr kleinen Rollbrücken wird die Verschiebung durch 1 bis 2 Mann bewirkt, welche unmittelbar am Geländer anfassen. Bei Fußwegen findet man (Textfig. 2 u. 15b) Zahnräder an einer Laufachse, welche durch Kurbelvorgelege getrieben werden. Für größere Brücken hat man in Zahnstangen eingreifende Getriebe benutzt. Schwere Brücken werden meist durch Wasserdruck mittels Ketten oder Drahtseilen bewegt. Bei neueren Entwürfen waren auch Dampfkraft sowie elektrische Motore vorgesehen.

Bei der in Textfig. 6 (S. 7) dargestellten und in § 5 beschriebenen Rollbrücke über die Kattendyk-Seeschleuse zu Antwerpen sind zwei wagerechte Wasserdruckcylinder von 0,61 m Plungerkolben-Durchmesser

Angaben über einige ausgeführte Rollbrücken.

Trägerform	Trägerhöhe m	Gewicht t	Bewegungs- kraft	Bemerkungen	Literatur-
					nachweis No.
Blechträger Textfig. 6	2,80	370; hiervon 106,2 Gegen- gewicht	Wasserdruck	Schwereres Hinterende. Druckwasser-Prefskolben mit Rollen am Kopfe heben die Brücke, während das Vorderende durch ein Horn niedergehalten wird. Feste Rollen auf dem Lande, in der Verlängerung.	12
Blechträger Textfig. 7	3,60	300; hiervon 80 Gegen- gewicht	Wasserdruck	Brücke wird ohne Kippen, durch Druckwasser-Kolben mittels eines Querhauptes, an welchem vier feste Rollen sitzen, gehoben.	16
Blechträger	—	200	Hand	Leichteres Vorderende. Druckwasser-Presse am Mittelpfeiler. Prefskolben mit Rollen am Kopfe, auf welche sich die Träger-Untergurte auflegen. Vorderende der Brücke stützt sich von unten mittels eines Hornes gegen eine verankerte Rolle. Bei genügend gehobenem Hinterende wird die Brücke mittels an ihr befestigter Rollen zurückgerollt.	
Blechträger	—	205	Wasserdruck	Schwereres Ende hinten. Kippt, nach Wegnahme der Stützen, um feste Rollen am Zwischenpfeiler und kann dann zurückgerollt werden.	
Blechträger	Textfig. 11, 12	204; hiervon 64 Ballast	Wasserdruck	Hohle Blechpfeiler. Gesamtauftrieb 200 t. Der Druck von 4 t verteilt sich auf 8 Laufäder, welche auf einem an der Sohle befindlichen Gleise laufen.	11
Hölzerne Gitterträger	1,60	25,5; hiervon 3,5 Gegen- gewicht	Handbetrieb	2 Laufäder am Hinterende und 2 dergl. in 12,95 m Abstand von demselben. Hinterende schwerer.	10
Parallel- Gitterträger	—	—	Hand	Hinterende durch Excenter zu senken. Feste Rollen auf eisernen Röhrenpfeilern. Wird unter anschließende feste Brücke geschoben.	
Parallel- Gitterträger	—	—	Hand	Hauptträger dreieckförmig verlängert über die anschließende feste Brücke. Vor dem Zurückschieben wird die Rollbrücke um die Achsen der 1,22 m Laufäder gekippt.	4 u. 13
—	—	—	Hand	Hinterende durch Excenter gesenkt, dann unter die anschließende feste Brücke auf Laufädern, welche auf besonderen, 1:40 geneigten Hilfsträgern laufen, zurückgeschoben.	
Holzbalken mit bewegl. Stützstreben	—	—	Wasserdruck	Textfig. 9, S. 10.	17
Blechträger	0,47	7,3	Hand	Hinter der Rollbrücke ein senkrecht zur Fahrtrichtung sich bewegender Rollwagen.	18
Fachwerk	2,51	90 einer be- wegl. Teil wegl. Hälfte	Wasserdruck	Mittels Dampfpumpe wird das Wasser auf 50 Atmosphären geprefst. Antrieb wagerecht gelagerte Wasserdruckcylinder (vergl. Textfig. 8, S. 9).	24

und 3,66 m Hub angebracht. An dem Kopfe jedes Kolbens und an der Bodenplatte jedes Cylinders befindet sich je ein Satz von vier auf gemeinschaftlicher Achse sitzenden Rollen von 1,10 m Durchmesser. Eine an einem Brückenende befestigte Kette geht (wie bei Flaschenzügen) über alle diese Rollen und ist mit ihrem anderen Ende ebenfalls an die Brücke befestigt. Die Ketten der beiden Cylinder bewegen sich in entgegengesetzter Richtung, sodass die eine zum Schließen, die andere zum Öffnen der Brücke dient. Die Ventile und die Zuleitungsrohre des unter 50 Atmosphären stehenden Druckwassers sind so eingerichtet, daß der Kolben in dem einen Cylinder vorwärts und gleichzeitig der Kolben in dem anderen Cylinder rückwärts geht. Der Weg der Ketten beträgt den achtfachen Kolbenweg. Besondere selbsttätige Vorrichtungen schließen die Zuleitungsöffnungen, sobald die Brücke genügend weit vorgerollt ist. Um ein Einfrieren des Wassers in den verschiedenen Leitungen zu verhindern, werden 16 Bunsen'sche Gasflammen gebrannt.

Die erforderliche Zeit zum Heben der Brücke (s. § 5) beträgt 1' 35", die zum Zurückschieben 1' 45", zusammen also 3' 20". Das Senken erfordert 30", das Wieder-Vorschieben 1' 40", zusammen also 2' 10". Um ein Anstoßen der Brücke, bei unvorsichtigem Schließen derselben, zu mildern, sind auf der Schleusenmauer Kautschukbuffer angebracht.

Fernere Beispiele für die Anordnung der Wasserdruck-Bewegungsvorrichtungen bei Rollbrücken sind bereits in § 5 gegeben worden (Brücke über die Penhouët-Schleuse zu St. Nazaire, Textfig. 7; Brücke zu Drontheim, Textfig. 9).

Zur sicheren Führung der Rollbrücken müssen entweder die Laufräder oder die Laufschiene oder feste Stützrollen oder endlich die Träger-Untergurte (Textfig. 7) mit Vorsprüngen versehen sein.

Die zur Bewegung der Brücke erforderliche Zugkraft Z hängt nicht nur von dem Gewichte der Brücke, sondern auch von der Steifigkeit der sich durchbiegenden Hauptträger ab. Ist G = dem Gewichte auf den Achsen der Stützrollen; G_1 = dem Gewichte dieser Rollen, deren Halbmesser = R und deren Achsenzapfenhalbmesser = r ist; μ = Koeffizient für Zapfenreibung und φ desgleichen für rollende Reibung, ρ ein Sicherheitskoeffizient, so hat man

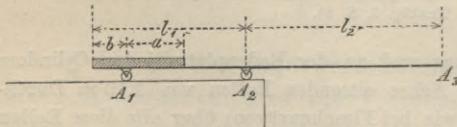
$$Z = \rho \left\{ \frac{G}{R} (\mu r + \varphi) + \frac{G_1}{R} \varphi \right\}$$

Für μ ist (bei Stahl und Bronze, wenig fettig) etwa 0,16 und für φ etwa 0,05 cm zu setzen. Nach vorliegenden Erfahrungen kann $\rho = 2$ bis 6 werden. Z ist übrigens die erforderliche Zugkraft unmittelbar an den Trägern. Wird ein Vorgelege angewandt, so sind die Reibungswiderstände in letzterem zu berücksichtigen.

Für die in § 9 besprochenen Rollbrücken ist die Berechnung unter Berücksichtigung aller im betreffenden Sonderfall vorliegenden Verhältnisse durchzuführen.

§ 12. Berechnung der Hauptträger. In geschlossenem Zustande werden die Hauptträger der Rollbrücken meist als durchlaufende Träger mit zwei Feldern l_1 und l_2 auftreten. Die Stützen A_1, A_2, A_3 liegen gewöhnlich in gleicher Höhe, auch werden wohl nach dem Zurollen der Brücke die elastisch durchgebogenen Trägerenden bis zur richtigen Höhe angehoben. (Ausführlicheres über diese Hebevorrichtungen folgt im Abschnitt „Drehbrücken“ unter IV.) Für derartige durchlaufende Balken erhält man bei Belastung mit Eigengewicht g und Gegengewicht k für die laufende Längeneinheit die in den Formeln 26 bis 28 des Anhanges für $q = g$ und ferner in den Formeln 31 bis 33 daselbst gegebenen Werte der Stützendrucke. Hiernach berechnen sich leicht die betreffenden M und Q (s. auch die Formeln zu den Tabellen in § 11 des Anhanges) für die verschiedenen Balkenquerschnitte. Zu diesen sind dann noch die von der Verkehrslast herrührenden M bzw. R des Anhanges hinzuzufügen.

Fig. 13.



Bei geöffneter Brücke sind mehrere Fälle zu unterscheiden. Werden erstens die Stützpunkte A_1 und A_2 (Textfig. 13) durch Laufrollen gebildet, welche mit dem Träger wandern (vergl. Textfig. 15), so ist für jede Lage

der Brücke, da das Ende A_3 jetzt frei schwebt: $A_3 = 0$ und wenn man $l_2 = \nu l_1$; $a = \alpha l_1$ und $b = \beta l_1$ setzt,

$$A_2 = \frac{l_1}{2} (g(1 + \nu)^2 + k(\alpha^2 - \beta^2))$$

und

$$A_1 = \frac{l_1}{2} [g(1 - \nu^2) + k(\alpha(2 - \alpha) + \beta(2 + \beta))].$$

Das größte M und das größte Q wird bei A_2 auftreten.

Sind dagegen zweitens die Stützpunkte A_2 und A_3 durch fest gelagerte Stützrollen gebildet, in welchem Falle gewöhnlich kein Gegengewicht angebracht, sondern die erforderliche Gewichtsausgleichung durch eine entsprechende Verlängerung der Träger erreicht wird (Fig. 14a), so ändern sich während des Verschiebens die Gröfsen der Stützendrücke und zwar erhält man für eine Stellung wie in Fig. 14b, wenn man noch $l'_3 = \mu l'_2$; $l = \tau l'_2$ und $x = \xi l'_2$ setzt,

$$A'_2 = gl \left(1 + \xi - \frac{\tau}{2} \right) \quad \text{und} \quad A'_3 = gl \left(\frac{\tau}{2} - \xi \right),$$

dagegen für eine Stellung wie in Fig. 14c: $A'_2 = pl - A'_3 - A'_4$

$$A'_3 = \frac{gl}{2 + 3\mu - \mu^2} \left(\left(2 - \frac{\tau}{2} + \xi \right) (2 + 3\mu + \mu^2) - \frac{1}{2\tau} [(\beta + 8\xi + 6\xi^2) + \mu^2(\mu + 4(1 + \xi) + 6(1 + \xi)^2)] \right)$$

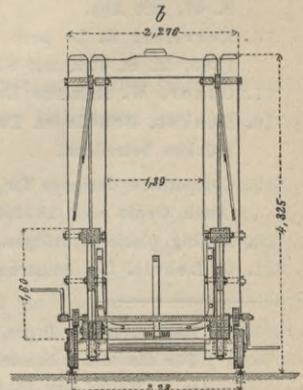
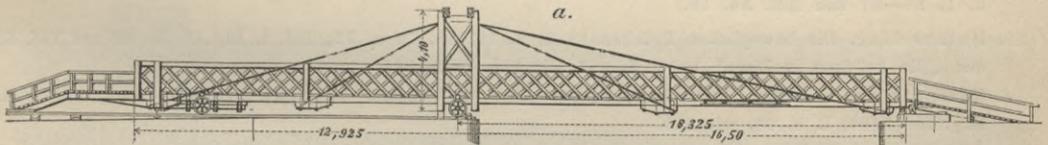
$$A'_4 = \frac{1}{2} \left[gl \left(\frac{\tau}{2} - \xi \right) - A'_3 \right].$$

Ist drittens, in der Fig. 13 z. B. die Rolle A_2 fest gelagert, dagegen die Rolle A_1 an dem Träger befestigt, so behalten die für den Fall der wandernden Rollen entwickelten Stützendruck-Formeln ihre Giltigkeit, nur werden nunmehr l_1 und l_2 veränderliche Gröfsen.

Die Konstruktionsformen der Hauptträger sind verschieden. Seltener kommen in neuerer Zeit Holzträger vor (z. B. bei Brücken über schwedische Kanäle, vergl. ferner Textfig. 3). Die Textfig. 15a u. 15b stellen die hölzerne Rollbrücke im Hafen von Dieppe über die Schleuse Duquesne dar. Die 31,25 m langen, 1,60 m hohen Hauptträger sind hier als Town'sche Gitterträger ausgeführt und durch geneigte Hängestangen, welche ihren oberen Befestigungspunkt in einem turmartigen Aufbau finden, versteift. Die 1,564 m breite Bahn, sowie die wagerechten Windkreuze sind unmittelbar an den Untergurten der Gitterträger befestigt.

Fig. 15. Rollbrücke, Hafen zu Dieppe.

a. Ansicht. M. 1: 300. b. Querschnitt. M. 1: 100.



Meist bestehen die Hauptträger der Rollbrücken aus Eisen, und zwar bei kleineren Brücken aus gewalzten oder genieteten I-Trägern oder auch aus Gitterträgern, bei gröfseren Bauwerken meist aus Blechträgern, welche sich ihres gleichmäfsigeren Zusammenhanges halber empfehlen (Textfig. 6 u. 7). Bei Gitterträgern, welche sich auf festgelagerten Stützrollen verschieben, ist darauf Rücksicht zu nehmen, dafs der von diesen ausgeübte Stützendruck auch zwischen den Knotenpunkten des Gitters wirken kann. Der Untergurt mufs demgemäfs durchgebildet sein, dafs er auch die auftretenden Biegemomente ohne Überschreitung der zulässigen Beanspruchung aufnehmen kann.

Dem Vorzeichenwechsel der Biegemomente bei geöffneter und geschlossener Brücke trägt man zweckmäßig dadurch Rechnung, daß man die zulässige Beanspruchung nach der Formel $\sigma = \alpha \left(1 + \rho \frac{S_{\min}}{S_{\max}}\right)$ berechnet.²⁾ Hierin kann für Fluß Eisen $\alpha = 800 \text{ kg/qcm}$ und für die Wechselstäbe $\rho = 0,30$ gesetzt werden. Wird auch noch der Knickgefahr Rechnung getragen, so wird sich das Eigengewicht der Rollbrücken auf die Längeneinheit auch mit Rücksicht auf die Erschütterungen reichlich genug ergeben.

Litteratur

(zugleich nach der Zeitfolge geordneter Quellennachweis).³⁾

Rollbrücken betreffend.

1. Tellkamp. Reisebericht: Die Rollbrücke im Hafen von Sunderland. Zeitschr. f. Bauw. 1857, S. 175 mit Taf. 77, Fig. 29—31 (auch Rziha. Eisenbahn-Unter- und Oberbau 1877, Bd. II. S. 463).
2. Bendel, Rollbrücke der New-Yersey-Bahn. Zeitschr. f. Bauw. 1862, S. 382.
3. Hemans. On telescop bridges, the telescop bridge over the Severn. Engineer 1869, I. S. 323, mit Abb.
4. Conybare. The cambrian railway viaducts (Barmouth-Brücke). Min. of proc. of the inst. of civ. eng. 1870/71, Bd. 32, S. 143, mit Abb.
5. Smith. Entwurf einer Fährbrücke über die Themse. Engng. 1873, II. S. 62, mit Abb.
6. Rollfähre zwischen St. Servan und St. Malo. Ann. des ponts et chaussées 1874, II. S. 5 u. Taf. 13, 14. (Auch in Scientific American 1874, II. S. 67 und Polyt. Centralbl. 1874, S. 894 und Morandièrre Bd. VI, Taf. 304.)
7. Bruce, B. Entwurf einer Rollbrücke über die Themse. Engng. 1876, I. S. 188, mit Abb. (Auch Polyt. Journ. 1876, Bd. 220, S. 379 und E. Tuit. The Tower bridge 1894, S. 29, mit Abb.)
8. Lemut. Pont roulant de service, portant un chemin de halage. Nouv. ann. de la constr. 1878, S. 98.
9. Mills u. Twyman. Rollbrücke mit angehängter Fahrbahn über die Themse. Engng. 1878, I. S. 237, mit Skizze.
10. Gehsteg, als hölzerne Rollbrücke, über die Schleuse Duquesne in Dieppe. Ann. des ponts et chaussées 1881, II. S. 327, mit Abb.
11. Kinipples Rollbrücke im Hafen von Greenock. Engng. 1883, II. S. 88 u. 150, mit Abb. (Auch Centralbl. d. Bauverw. 1887, S. 147, mit Abb.)
12. van Gansberghe. Notice sur le ponts roulant établi sur l'écluse maritime du Kattendyk à Anvers. Ann. des travaux publ. de Belgique 1883, S. 397 und Taf. X u. XI. (Dasselbe holländisch in der Tijdschr. van het Koninkl. Inst. van Ing. 1885/86, Lief. 3, S. 267 u. T. 18—21 und Litt. No. 18.)
13. Heinzerling. Die beweglichen Brücken 1883, S. 19, 38, 70 u. 77, Taf. I, Fig. 1 bis 16 und Taf. III und „Die Brücken in Eisen“ 1870, S. 397 mit Abb. 982—985.
14. Kinipple und Morris. Rollbrückenprojekte über die Themse zu Tower, Stepney und Greenwich. Engineer 1884, I. S. 68, mit Abb.
15. Andersen. Rollbrücke mit angehängter Fahrbahn für Eisenbahnverkehr. Scientific American 1885, I. S. 47, mit Abb.
16. Kerviler, R. Le pont roulant de l'écluse de Penhouët à Saint-Nazaire. Ann. des ponts et chaussées 1885, II. S. 425, mit Skizze.
17. Cauer, W. Hölzerne Rollbrücke in Drontheim. Zeitschr. f. Bauw. 1887, S. 81 u. Taf. 16.
18. Henket, Schols en Telders. Waterbouwkunde 1888, 3. Teil, XIV. Abschn. mit Taf. 32—36, Rollbrücken betreffend.
- *19. Competitive designs for a bridge over the Duluth ship canal. Engng. news 1892, II. S. 390 mit Taf. (Auch Genie civil 1892/93, Bd. 22, S. 101 mit Taf.; Fortschrittsheft S. 82 mit Fig. 57e—g, S. 43.)
- *20. Rolling platform bridges. Engineer 1893, II. S. 382, mit Abb. (Auch Fortschrittsh. S. 83, Litt. 2, m. Abb.)
- *21. G. Lebris. Les constructions métalliques. Paris 1894. Eine Rollbrücke in Tientsin, S. 255, mit Abb.

²⁾ Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften, II. Bd. 2. Abt. 3. Aufl. 1901, S. 110.

³⁾ Für die mit * bezeichneten Litteraturangaben findet man vielfach kurze Beschreibungen im Litteratur-nachweis des 5. Heftes der II. Gruppe der Fortschrittshefte: Bewegliche Brücken, 1897.

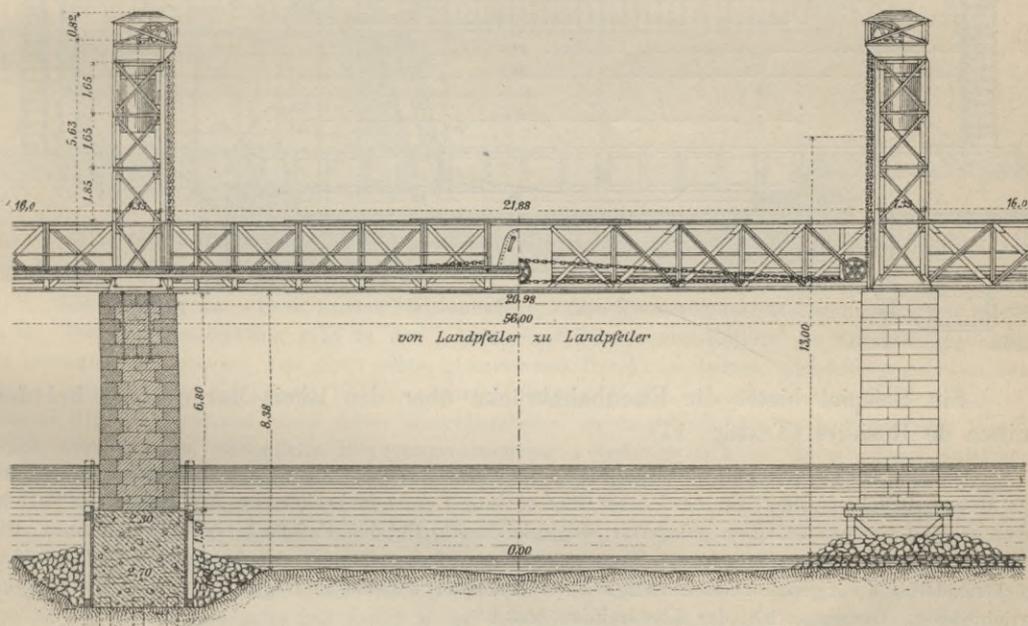
- *22. Barkhausen. Entwurf einer zweiten Brücke über die Themse unterhalb des Tower. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 411, mit Abb. (Auch Fortschrittsheft S. 83, Litt. 5, mit Abb.)
- *23. T. E. Tuit. The Tower bridge 1894. Entwurf einer Rollbrücke, S. 29, mit Abb.
24. J. W. Barber. Victoriabrücke über den Deefluss. Engng. 1897, I. S. 781 mit Abb. u. Doppeltafel. (Auch Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1897, S. 755, mit Abb.; Proc. of the Inst. civ. eng. 1899, Bd. 138, S. 344, m. Abb.)
25. The Westchester Avenue rolling bridge (New York). Engng. record 1902, Bd. 46, S. 79, mit Abb.

B. Hubbrücken.

§ 13. Hubbrücken mit beweglichen Hauptträgern. Man kann zweierlei Arten von Hubbrücken unterscheiden: solche, bei denen der ganze bewegliche Überbau (Hauptträger und Fahrbahn) lotrecht gehoben wird, und solche, bei denen die Hauptträger in der erforderlichen Höhe fest liegen und nur die Fahrbahn eine lotrechte Bewegung hat.

Die erste Konstruktionsart ist die ältere und hat in jüngster Zeit in hervorragender Weise Verwendung gefunden (vergl. S. 22 und Litt. 19, 23 u. 24 nach § 15).

Fig. 16. Hubbrücke, Schiffswerfte zu Alt-Ofen. M. 1 : 225.



Ein älteres Beispiel bietet die 6 m breite Straßens-Hubbrücke an der Schiffswerfte zu Alt-Ofen (Textfig. 16), bei welcher der 45 t schwere eiserne Überbau der mittleren, 21 m weiten Öffnung in 7 Minuten um 4 m gehoben wird.

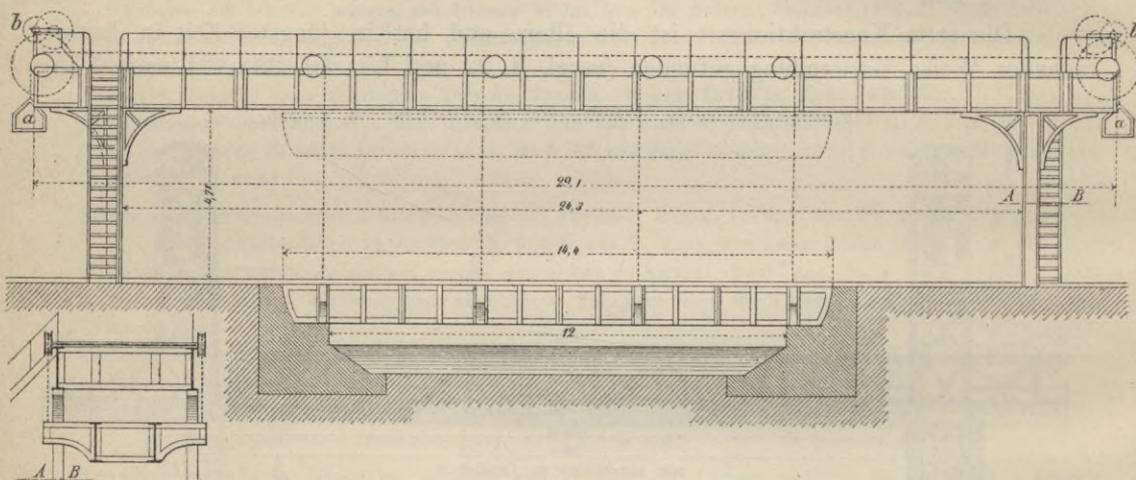
Die Gegengewichte sind in schweißeisernen Türmen angebracht und die Kettenführung ist derartig, daß zwei Mann, auf der Mitte der Brücke stehend, die Hebung bewirken. Zu diesem Zwecke befindet sich in der Mitte jedes der beiden als Fachwerke konstruierten Hauptträger je eine Winde, mittels welcher je zwei auf gemeinschaftlicher Achse sitzende Kettenrollen in Bewegung gesetzt werden können. An jedem der vier Pfeilertürme ist ferner eine Kette angebracht und mit ihren beiden Enden am unteren und oberen Teile derselben befestigt. Diese Kette ist über eine am Trägerende befindliche Rolle und über die Rolle des Windewerks geschlungen und es kann sonach, durch Drehen der letzteren in dem einen oder anderen Sinne, ein Heben oder Senken des Brückenfeldes erfolgen.

Seit dem Jahre 1886 ist in der Rue de la Crimée am Bassin de la Villette zu Paris eine beachtenswerte Strafsen-Hubbrücke von 7,40 m Breite und 15,0 m Lichtweite ausgeführt, deren 20,0 m weit gespannte Blechträger mittels zweier an den Enden angebrachten Quer-Unterzüge durch Wasserdruck bis zu 4,60 m in 50 bis 80 Sekunden (je nach dem vorhandenen Drucke) gehoben werden können. (Näheres s. Tabelle 4, S. 32 und Litt. 14 nach § 15.)

Mehrfach sind in neuerer Zeit Hubbrücken ausgeführt worden, deren beweglicher Überbau (Hauptträger und Fahrbahn) von besonderen hoch gelagerten festen Trägern aus gehoben werden. Diese Brücken bilden einen Übergang zu der im nächsten Paragraphen zu besprechenden Konstruktion, bei welcher die Fahrbahn allein gehoben wird.

Fig. 17. Hubbrücke, Rhein-Marne-Kanal, bei den Salinen de Rosières.

M. 1 : 200.



Ein Beispiel bietet die Eisenbahnbrücke über den Rhein-Marne-Kanal bei den Salinen de Rosières (Textfig. 17).

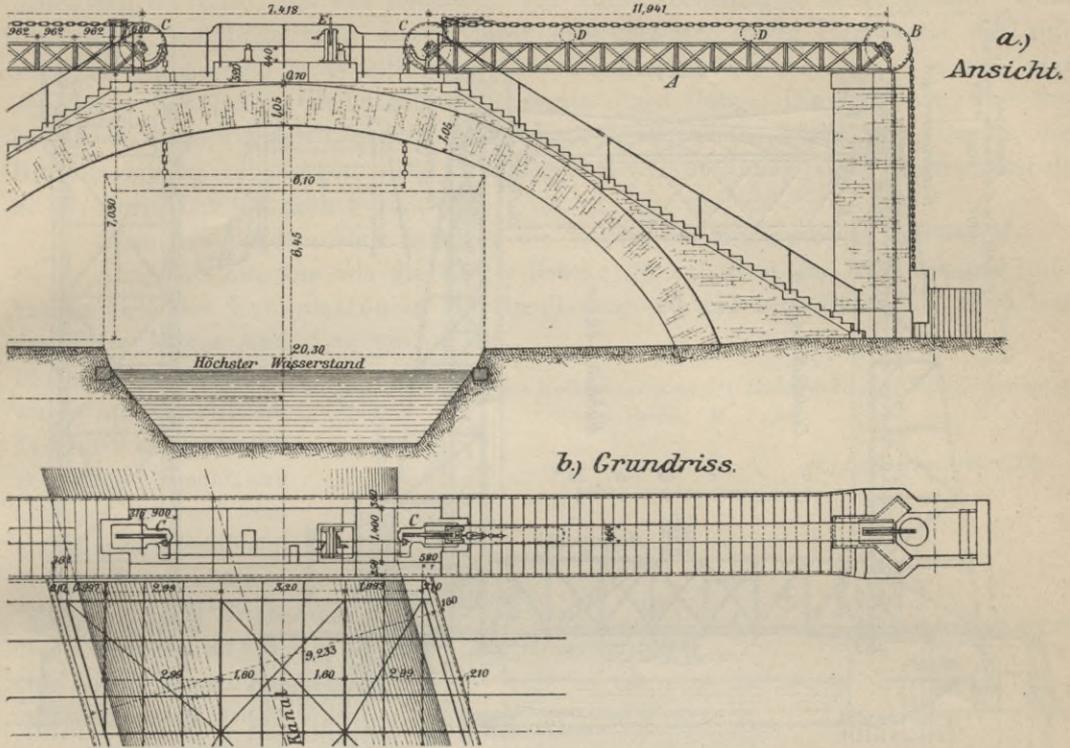
Dieselbe ist als gewöhnliche Blechbrücke von 12 m Lichtweite mit seitlichen Konsolen ausgeführt. Zum Heben derselben dient ein besonderer 29,6 m langer, 3,54 m breiter, an den Enden auf 4,71 m hohen schweißeisernen Ständern gelagerter Steg (gleichzeitig für den Fußgängerverkehr bestimmt). Die Kettenführung über die an dem oberen Stege gelagerten Aufzugsrollen ist eine derartige, daß die beiden Brückenden sich mit gleicher Geschwindigkeit heben müssen; *aa* sind die Gegengewichte, *bb* die Aufzugsvorrichtungen. Gesamtgewicht der Konstruktion 36,3 t.

Ähnlich ist die Anordnung der zweigleisigen, schiefen (74°) Hubbrücke über den Canal de l'Oureq an dem Viehmarkte zu Villette in Paris (Textfig. 18). Die drei Blechträger werden an Blechkonsolen von vier Ketten gefast und 7,03 m gehoben. Zu diesem Zwecke sind in der betreffenden Höhe vier Gitterbrücken von je 11,94 m Länge angebracht.

Die Tragketten durchsetzen in einem eingemauerten Rohre die Gewölbe, gehen über die Rollen *C* und *B* und tragen an ihren Enden die vier Gegengewichte, jedes zu 5 t. Zur Stützung der Ketten dienen die Rollen *DD*. Nahe am Gewölbescheitel befindet sich auf jeder Seite der Brücke eine Winde *E*, von welcher aus je ein Mann die Ketten in Bewegung setzt.

Zur Erleichterung der Brückenbewegung dienen auch hier an den beweglichen Trägern angebrachte Wasserbehälter, welche sich bei dem tiefsten Stande der Brücke selbsttätig entleeren. Zum Heben der 20 t schweren Brücke sind 2 Minuten erforderlich. Auch dieses seit 1868 bestehende Bauwerk soll sich gut bewähren.

Fig. 18. Hubbrücke über den Oureq-Kanal. M. 1 : 200.

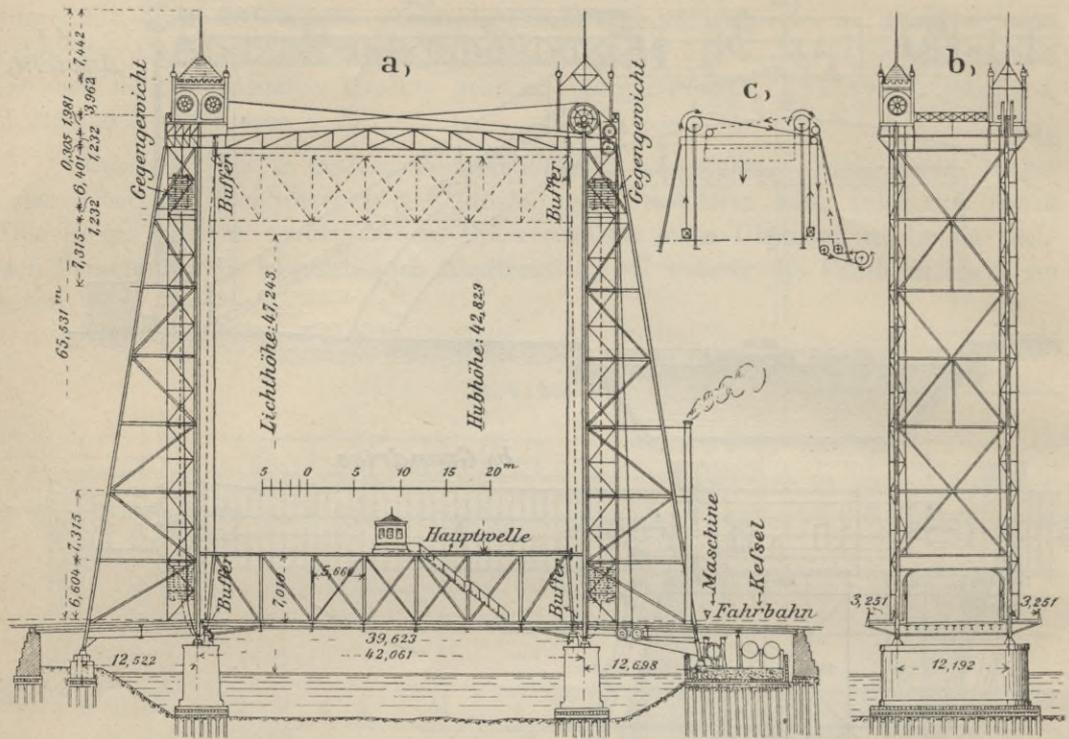


Eine eigenartige Durchbildung weist die 1890 in Tätigkeit gesetzte Hubbrücke von Larrey (Litt. 18 nach § 15) auf.

Die Hubhöhe der 6,10 m breiten Straßenbrücke, deren Konstruktionshöhe sehr gering ist, beträgt 2,4 m. Die Eisenkonstruktion ruht in den 4 Ecken auf Druckwasser-Kolben, die durch Zahnstangen mit lotrechten Zahnstangen von einer allen gemeinsamen Druckwasserpresse gleichzeitig gehoben oder gesenkt werden. Der bewegliche Teil der letzteren setzt sich zusammen aus einem unveränderlichen Gewicht (Gufsscheiben) und einer dieses umschließenden eisernen Kufe, die nach Bedarf mit Wasser gefüllt werden kann. Sämtliche Bewegungsrichtungen befinden sich in einem abseits gelegenen besonderen Maschinenhaus, von wo aus die Brücke gesteuert wird. Das Gewicht der Brücke einschließlich der Presskolben beträgt 28,48 t, das der beweglichen Teile des Kraftsammlers einschließlich seines Kolbens 17,76 t und das Gewicht des die Brücke aus der Ruhelage lösenden Belastungswassers 1,08 t. In 5 Sekunden wird die Brücke gehoben oder gesenkt. Die Kosten der insgesamt 22,2 m langen Brücke erreichen den außerordentlich hohen Betrag von 49365 M., wovon 5078 M. auf den eisernen Überbau, 5330 M. auf den Kraftsammler und 18092 M. auf die Bewegungsrichtungen treffen.

Von allen bestehenden Hubbrücken gewährt die Hubbrücke über den Chicago-Fluss (Halstedstrasse in Chicago, Litt. 19 nach § 15) mit 39,62 m Breite und 47,24 m Höhe wohl das höchste freie Verkehrsprofil. Die wesentliche Anordnung der Brücke, sowie deren Hauptabmessungen, ist aus Fig. 19 zu ersehen. An jedem Flussufer steht ein fachwerkartig (mit genieteten Knotenpunkten) durchgebildeter Stahlturm, der oben zur Aufnahme der Drahtseile mit Rillen versehene Rollen von 3,658 m Durchmesser trägt. Die Gegengewichte bestehen aus einer Anzahl rechteckiger Gufsscheiben, zusammen 2,62 m hoch, die in den in Textfig. 19 in einfachen Linien eingezeichneten Parallelfachwerksrahmen auf und nieder bewegt werden. Für jede Brückenstellung wird das Kabelgewicht durch eine schmiedeiserne Kette, deren eines Ende an den Hauptträger, das andere an das Gegengewicht angeschlossen ist, ausgeglichen.

Fig. 19. Hubbrücke in der Süd-Halsted-Straße in Chicago.



Die Turmhäupter sind durch Fachwerkträger sowohl zur Absteifung der Türme, als auch zur Auflagerung der Seilgetriebe und zur Vermittelung des Verkehrs mittels eines Steges verbunden. An den Füßen der geneigten Turmwandungen angeordnete Stellschraubenanordnung mit Kugelgelenkauflagerung (Fortschrittsheft Fig. 77, S. 75) hat sich zur genauen Einstellung der Turmwandungen als sehr zweckmäßig erwiesen. Die geneigten Wandungen haben blofs die Windwirkungen, die lotrechten (flufswärts gelegenen) Wandungen der Türme nur das Brückengewicht aufzunehmen. In jedem Turmeck oben und unten macht ein Wasserdruckpuffer (Fortschrittsheft Fig. 78, S. 76) mit Glyzerinfüllung den Stofs der anlegenden Brücke (größte Geschwindigkeit 1,22 Sek./m) unschädlich. Da das anzuhebende Gewicht 290 t, das Gegengewicht ebensoviel und das Gewicht der bereits erwähnten Gegengewichtsketten 20 t beträgt, sind insgesamt 600 t zu bewegen. Gewichtsänderungen durch Schnee, Abpflasterungen der Fußwege u. s. w., können durch Einlassen von Wasser in auf der Brückentafel angebrachte Behälter ausgeglichen werden. Es hat demnach die Maschinenanlage blofs die Reibungswiderstände zu überwinden. Die Brücke wird während des Auf- und Niedergehens in der Quer- und Längsebene durch Rollen geführt, die an dem Ober- und Untergurt angebracht sind. Da die Längsrollen stets durch Federn an die Säulenführung geprefst sind, ist die Längenänderung der Hauptträger nicht gehindert. Die Querrollen haben blofs bei Windwirkung, sowie bei Anfahren von Schiffen in Wirksamkeit zu treten.

Die Abdeckung der Plattform besteht vollständig aus Holz, wobei die nutzbare Fahrwegbreite 10,36 m beträgt und die der beiden Fußwege je 2,13 m.

8,61 t Wasser in den bereits erwähnten Wasserbehältern genügen, um die Brücke in Bewegung zu setzen. Das Einfrieren des Wassers wird durch Zuleitung vorgewärmten

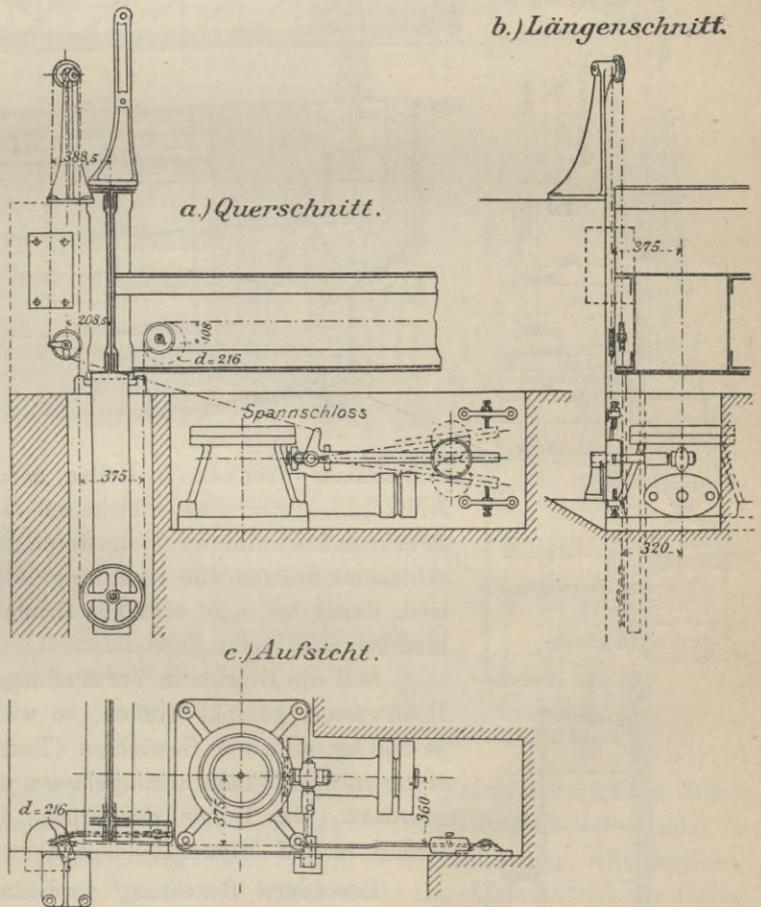
Wassers von der Dampfmaschinenanlage aus verhindert. Letztere (Textfig. 19a) befindet sich am Land, um das Entstehen von Turmschwingungen zu vermeiden. Zwei 70pferdige Dampfmaschinen setzen durch eine 203 mm starke Hauptwelle mit aufgekeilten gußeisernen Seilscheiben von 1830 mm Durchmesser die Brücke in auf- oder abgehende Bewegung. Reibungsbremsen regeln deren Gang. Die Anordnung der Anhebekabel stellt Textfig. 19c dar, wobei die eingezeichneten Pfeile dem Beginn der Brückensenkung entsprechen. Die Grundlagen der Berechnung siehe Fortschrittsheft S. 77, sowie Litt. 19 nach § 15.

Ohne den Landanschluss betragen die Kosten des Brückenbaues 840000 M.

Ähnlichen Zwecken wie die Larrey-Brücke (S. 21) dient die 1895 erbaute Hubbrücke über den Urbanhafen in Berlin (Textfig. 20 und Litt. 24 nach § 15). Von

der 22 m langen und 14,6 m breiten Brücke wurde nur der mittlere Teil für 9 m Lichtweite beweglich gemacht, und überdies in zwei voneinandervöllig unabhängigen Brückenhälften von je 7,30 m Breite derart zerlegt, daß jede eine eigene Bewegungsvorrichtung und Druckwasserzuleitung besitzt. Die eiserne Brückentafel ruht ebenfalls an den vier Ecken auf Cylindern mit Taucherkolben, die in kugelförmige Ansätze der Endquerträger greifen. An den unteren Kolbenenden befinden sich Schlitze, durch die nach Beendigung der lötrechten Aufwärtsbewegung durch Druckwasser Riegel geschoben werden, die das Brückengewicht abfangen und die Druckwasserleitung entlasten. Der gleichmäÙige Gang der vier Taucherkolben wird durch die der Firma Hoppe-Berlin patentierte, in Textfig. 20 dargestellte Parallelsteuerung gewährleistet. Die an jedem Kolben befindlichen Drosselhähne sind durch eine Gelenkkette zwangläufig derart verbunden, daß ein Voreilen oder Zurückbleiben eines Kolbens ausgeschlossen ist. Zeigt eine in der Gelenkkette angebrachte Scheibe die Höchststellung der Brücke an, so bringt man

Fig. 20.
Parallelsteuerung der Kolbenbewegung der Hubbrücke über den Urbanhafen in Berlin. M. 1 : 40.

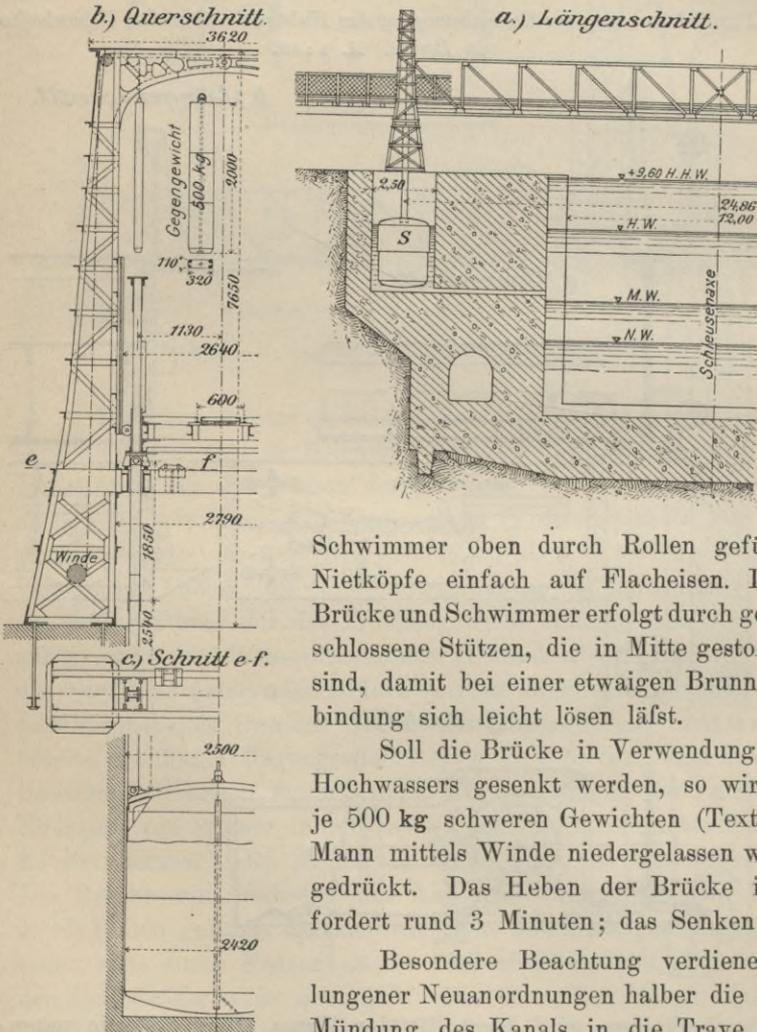


den gleichmäßigen Gang der vier Taucherkolben wird durch die der Firma Hoppe-Berlin patentierte, in Textfig. 20 dargestellte Parallelsteuerung gewährleistet. Die an jedem Kolben befindlichen Drosselhähne sind durch eine Gelenkkette zwangläufig derart verbunden, daß ein Voreilen oder Zurückbleiben eines Kolbens ausgeschlossen ist. Zeigt eine in der Gelenkkette angebrachte Scheibe die Höchststellung der Brücke an, so bringt man

den Bewegungshahn in die Mittelstellung, öffnet die Zuleitung des Verriegelungshahnes, wodurch der Verriegelungskolben durch Schlitze der Taucherkolben hindurchtritt, sodass die Brücke nach erfolgter geringer Senkung zur Übertragung des Gewichtes auf die Riegel verschlossen und gesichert ist. Sämtliche Riegel sind mit roten Signalscheiben versehen, die sichtbar werden, sobald die Riegel vollständig durch die Kolbenslitze hindurchgeschoben sind. Das Gesamtgewicht einer Brückenhälfte beträgt 85 t und kann in 5 Minuten um 2,5 m gehoben werden. Der Betriebsdruck des Presswassers beträgt 50 at. Die Baukosten, einschliesslich der gewölbten Anschlufsöffnungen, betragen 104556 M.

Besonderem Zwecke dient die Hubbrücke bei Lauenburg (Litt. 23 nach § 15), da sie blofs während 1 bis 2 Monaten während der Hochwasserzeit, und dann

Fig. 21. Hubbrücke in Lauenburg. M. 1:100 und 1:300.



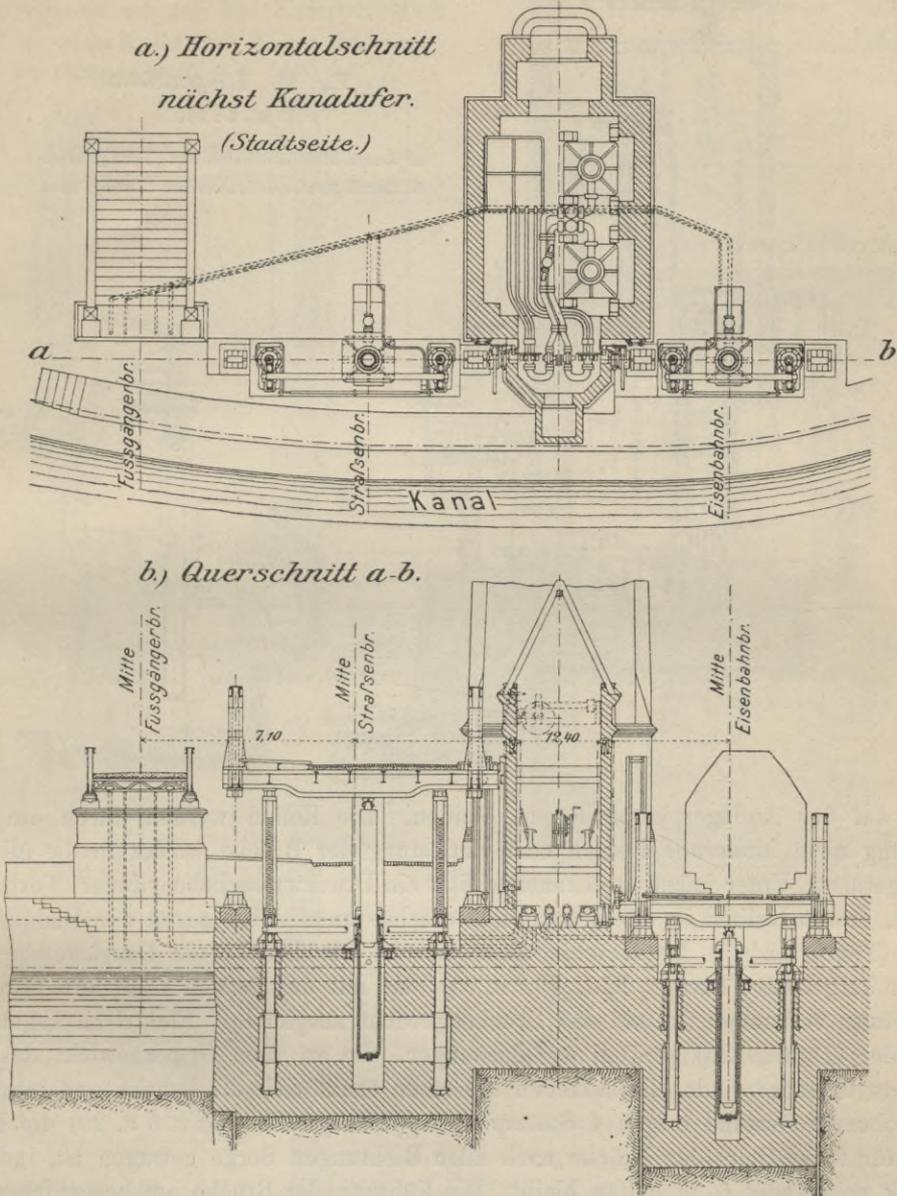
höchstens um 2,2 m gehoben zu werden braucht. Hierbei betätigt das Hochwasser selbst den Hub der Brücke. Der mit der Brücke fest verbundene, aus 10 mm starken Blechen hergestellte eiserne Schwimmer *S* (Textfig. 21) hebt und senkt sich mit dem Wasserstand, wobei er zur Auftriebsregelung mit Ballast versehen werden kann. In den Brunnenwänden wird der

Schwimmer oben durch Rollen geführt, unten schleifen die Nietköpfe einfach auf Flacheisen. Die Verbindung zwischen Brücke und Schwimmer erfolgt durch gelenkig (Textfig. 21 b) angeschlossene Stützen, die in Mitte gestossen und blofs verschraubt sind, damit bei einer etwaigen Brunnenausbesserung diese Verbindung sich leicht lösen läfst.

Soll die Brücke in Verwendung treten, also während des Hochwassers gesenkt werden, so wird durch Auflegung von 4 je 500 kg schweren Gewichten (Textfig. 21 b), die durch einen Mann mittels Winde niedergelassen werden, die Brücke niedergedrückt. Das Heben der Brücke in die Höchststellung erfordert rund 3 Minuten; das Senken erfolgt rascher.

Besondere Beachtung verdienen verschiedener wohlgelegener Neuordnungen halber die 2 Hubbrücken über die Mündung des Kanals in die Trave zu Lübeck (Textfig. 22 bis 27 und Litt. 24 nach § 15), von denen die eine dem Strafsenverkehr, die andere einer eingleisigen Eisenbahn dient. Die in Textfig. 22 b links dargestellte Fußgängerbrücke ist fest und besitzt 42,24 m Stützweite; sie dient jedoch nicht blofs dem Fußgängerverkehr, sondern hat auch die Rohre für die Druckwasservorrichtungen der

Fig. 22. Hubbrücke in der Hafenstraße zu Lübeck. M. 1 : 250.



beiden Hubbrücken zu tragen. Die Straßenbrücke besitzt gleichfalls 42,24 m Stützweite, während die der Eisenbahnbrücke 45 m beträgt. Das Bahngleis selbst liegt in starker Krümmung, weshalb die Haupttragwände in 5,75 m Abstand liegen. Die Straßenbrücke gewährt bei gewöhnlichem Wasserstand hinreichende Durchfahrthöhe; die Eisenbahnbrücke liegt zwar um 1 m tiefer, ist aber gewöhnlich gehoben, da sie täglich nur zu bestimmten Zeiten von den Hafenzügen benutzt wird. Die Unterteile der Auflager sind bei beiden Hubbrücken mit dem Mauerwerk fest verbunden (Textfig. 22 b). Die Obertheile bleiben während der Aufwärtsbewegung bei den festen Auflagern an den Hauptträgern hängen; bei den beweglichen Auflagern werden aufser den Obertheilen auch noch die Bolzen und die unteren Druckkörper mitgenommen, während die Lagerplatten einschliesslich der

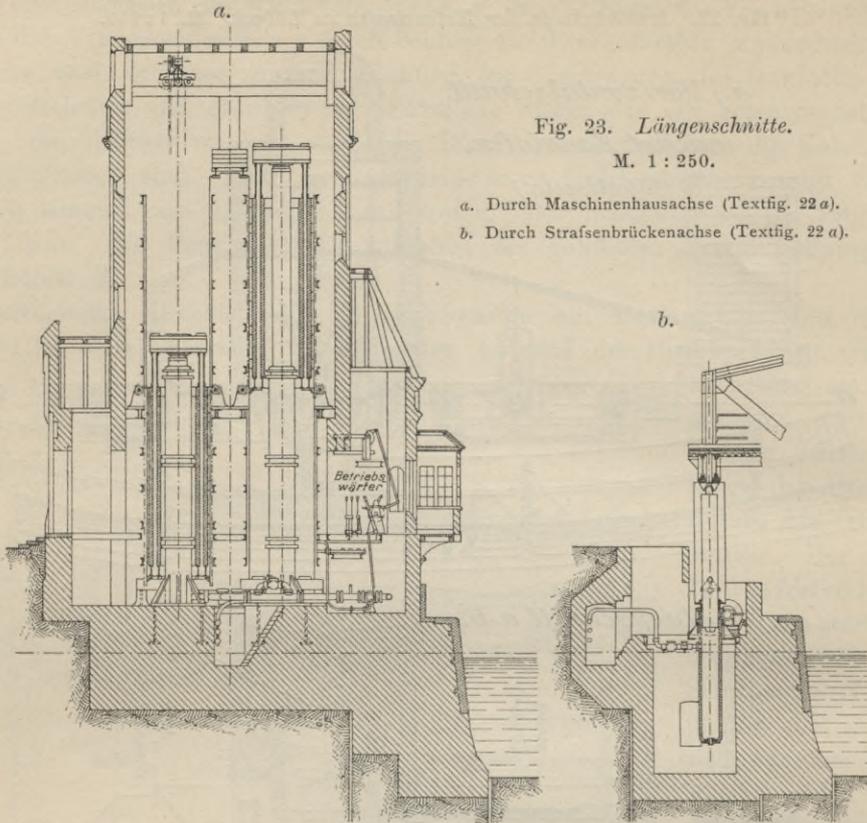


Fig. 23. Längenschnitte.

M. 1 : 250.

a. Durch Maschinenhausachse (Textfig. 22 a).

b. Durch Strafenbrückenachse (Textfig. 22 a).

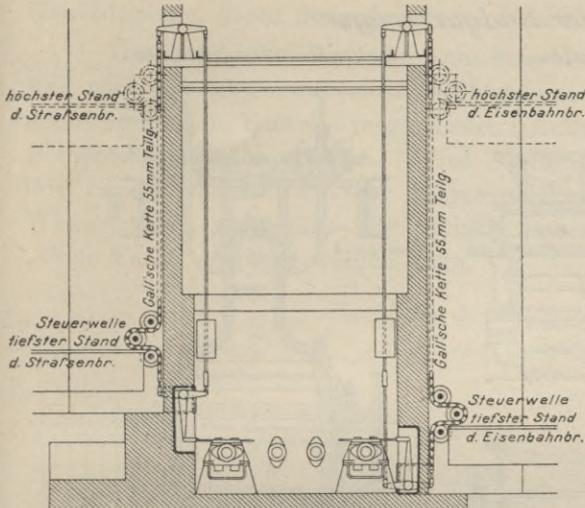
Rollen auf den Auflagerplatten liegen bleiben. Die Rollen werden durch die Längsbewegung nicht hindernde Federn nach Entlastung der Brücke wieder in die Mittellage zurückgeführt. Unter jedem Brückende sitzt ein Druckwasserhebecylinder (Textfig. 22 a u. 23 b), dessen Kolben in der Brückenschwerachse unmittelbar gegen den Endquerträger drückt (Textfig. 24 c). Im Maschinenhaus ist für jede Brücke ein Druckwasser-Gegengewicht aufgestellt (Textfig. 22 a, 23 a u. 25), das mit den beiden Cylindern durch eine Rohrleitung verbunden ist und das Brückengewicht ausgleicht. Elektrisch angetriebene Zahnräder (Textfig. 25) greifen in Zahnstangen, die an dem Gegengewicht des Kraftsammlers befestigt sind. Beim Heben desselben senkt sich die Brücke und umgekehrt. In gehobenem Zustand tragen 4 Stützpindeln (Textfig. 22, 24 a u. b u. 25) die Brücke, wobei für freies Spiel der Brücke nach allen Richtungen Sorge getragen ist, indem nur ein Eck vollständig festgehalten bleibt. Die Führung der Brücke am beweglichen Ende, wobei sie in der Querrichtung unverschieblich gehalten wird, ist aus Textfig. 24 d zu ersehen.

Während des Verkehrs über die Hubbrücken hängen die Spindeln mit 1,5 mm Spielraum frei herab und die Brücke ruht auf den unter den Hauptträgern befindlichen Lagern (Textfig. 22 b, Bahnbrücke). Dann werden die Rollwagen (Textfig. 26 a) durch Federn in die Mittelstellung zurückgezogen und hier festgehalten, bis sie wieder mit den Stützpindeln gegen die Endquerträger gepreßt werden. Bei gehobener Brücke können diese Federn nachgeben und sich die Rollen bewegen. Um auch Zugkräfte aufnehmen zu können, sind die Druckplatten der Rollenlager durch Schrauben mit kugeligem Kopf und ebenso gebildeten Unterlagsscheiben verbunden (Textfig. 26 a). Besondere Vorrichtungen (Litt. 24 nach § 15) verhindern das Schiefstellen der Brücke.

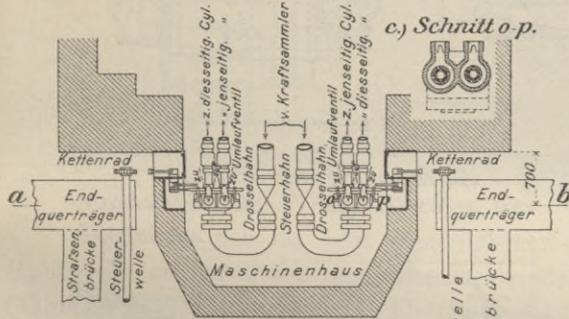
Fig. 24. Vorrichtung zur wagerechten Führung der Endquerträger während der Auf- und Abwärtsbewegung.

M.: a) bis c) = 1:100, d) = 1:34.

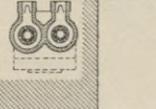
a.) Querschnitt a-b (Abb. b.)



b.) Horizontalschnitt: der Straßenbrücke, der Eisenbahnbrücke.



c.) Schnitt o.p.



d.) Führung des Endquerträgers.

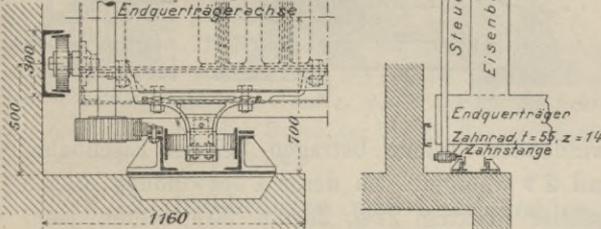
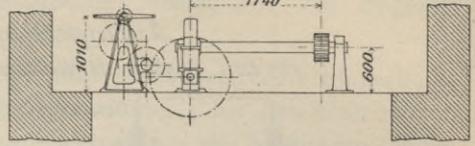
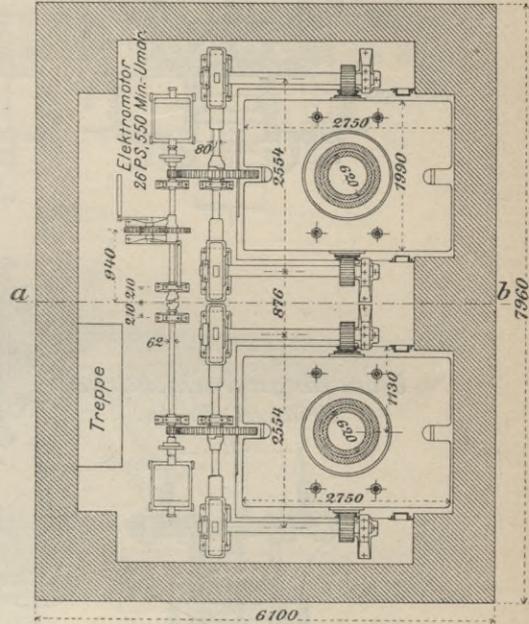


Fig. 25. Anordnung und Antriebsvorrichtung der Gewichtskraftsammler. M. 1:100.

a.) Querschnitt a-b (Abb. b.)



b.) Horizontalschnitt.



Die genaue wagerechte Bewegung in der Längsrichtung wird durch eine der Firma C. Hoppe-Berlin patentierte Vorrichtung erreicht, die beide Druckzylinder zwangsläufig verbindet. Deshalb sind in die Zuleitungen Drosselhähne eingebaut (Textfig. 24 b), welche die Leitungen zu den vor-eilenden Kolbendrosseln und bei erheblich werdender Schiefstellung ab-sperren. Dies bewirkt eine am Brücken-

körper entlang laufende Steuerwelle, an deren Enden Zahnräder sitzen, deren eines in eine feste Zahnstange, das andere in eine verschiebbare Kette faßt (Textfig. 24). Bei der kleinsten Schiefstellung verschiebt sich die Kette und bewegt den Drosselhahn.

In äußerst sinnreicher Weise kann die Brücke in jeder Stellung selbsttätig abgesteift und abgefangen werden; die Spindeln besitzen rückläufige Gewinde, auf denen Muttern sitzen (Textfig. 27), die für gewöhnlich sich leicht in einer Kugellagerung drehen; werden jedoch die Muttern durch eine im Falle eines Rohrbruches selbsttätig in Kraft tretende Umstellvorrichtung (Textfig. 27 b) in dem kegelförmigen Auflager nach Art der

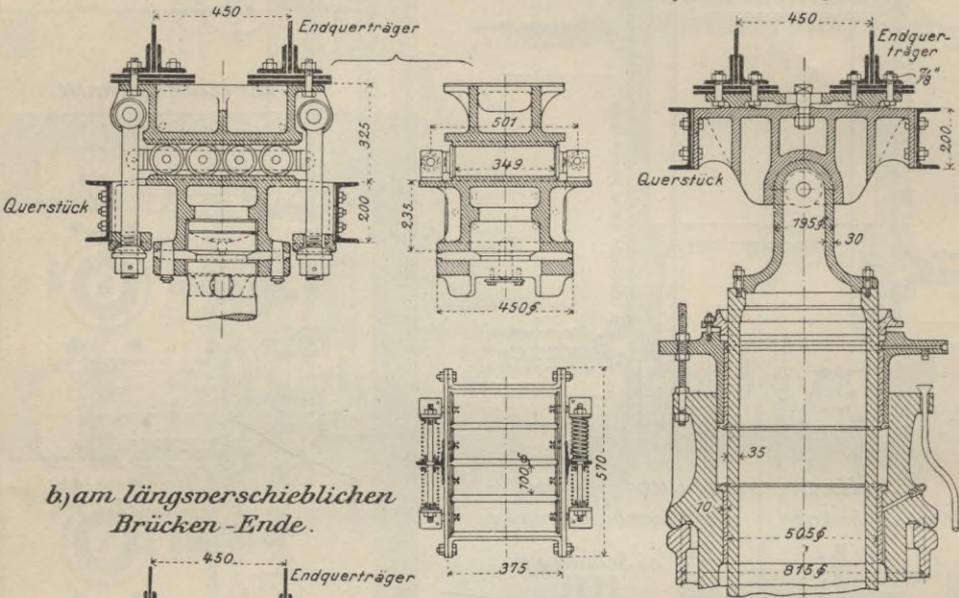
Reibungskuppelung fest gestützt (Textfig. 27 a), so ist die Rückläufigkeit aufgehoben und die Spindel wird in der aufgelagerten Mutter festgehalten.

Fig. 26. M. 1 : 25.

Auflagerung der Endquerträger:

a.) am festen Brücken-Ende.

c.) in Querträgermitte.



b.) am längerverschieblichen Brücken-Ende.

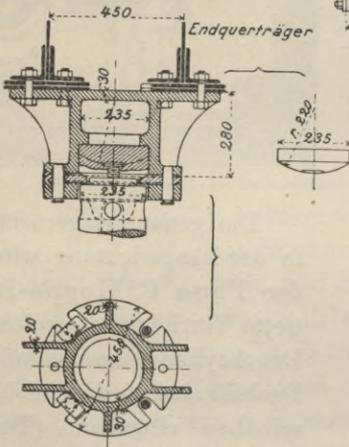
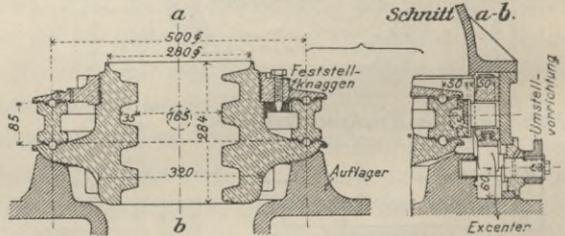


Fig. 27. M. 1 : 15.

a. *Auflagerung der Spindeln mit selbstthätiger Umstellvorrichtung*

b.



Die durch das Getriebe zu überwindenden Drücke betragen bei der Eisenbahnbrücke 14,5 t, bei der Strafsenbrücke rund 2 t weniger. Zu deren Überwindung dienen die schon erwähnten Ausgleichskraftsammler (Textfig. 22 a, 23 a u. 25 b) deren jeder durch einen 26pferdigen Elektromotor angetrieben wird, der in der durch Textfig. 25 dargestellten Weise durch Räder und Schnecken vorgelege auf die an den Belastungsplatten befestigten Zahnstangen aus Stahlguss wirkt. Der Elektromotor ist mit dem ersten Vorgelege durch eine elastische Kuppelung verbunden, die ihn gleichzeitig isoliert. Zur Unschädlichmachung plötzlich auftretender unvorhergesehener Widerstände ist das gröfsere Zahnrad des Vorgeleges als Reibungskuppelung ausgebildet. Damit man beim Versagen eines Elektromotors beide Kraftsammler mit dem anderen Elektromotor antreiben kann, sind entsprechende Kuppelungen vorgesehen. Außerdem sind für den

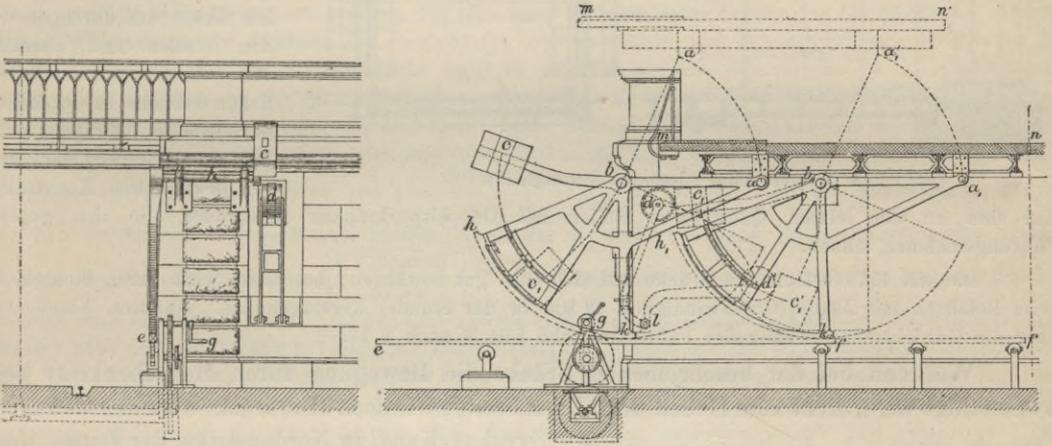
Kraftsammlerbetrieb zwei Handwinden vorhanden, deren jede zu ihrer Bedienung vier Mann bedarf.

Die Spindeln sind aus Siemens-Martin-Stahl mit 160 mm Kerndurchmesser hergestellt, die aus Phosphorbronze bestehenden Aufsatzmuttern haben $2\frac{1}{2}$ voll tragende Gewindegänge, deren Steigungswinkel $21^{\circ}50'$ beträgt.

Der Brückenwärter kann vom Maschinenhaus alles übersehen. Die Steuerhebel sind nach Art der Centralweichenstellungen und Signaleinrichtungen bei den Eisenbahnen derart verbunden, daß die vorgesehenen Handhabungen sich nur in der ordnungsmäßigen Reihenfolge ausführen lassen. Wird Abwasser gegeben, so setzt sich die Brücke auf ihre Lager, wodurch erst der Wegschränkenhebel freigegeben wird. Das Öffnen der Wegschränken giebt dann alle übrigen Steuerungen frei, sodafs nun erst das Signal: „Freie Fahrt“ gegeben werden kann.

Fig. 28 a u. b. Friedrichsbrücke, Dresden.

Halbe Ansicht und Querschnitt. M. 1:96.



Eine von den bis jetzt beschriebenen ganz abweichende Konstruktion zeigt die Hubbrücke an der Friedrichsbrücke in Dresden (Textfig. 28 a u. b), welche zur Überführung einer Straße über die Eisenbahn dient und von unten gehoben wird.

Durch die mittels des Vorgeleges *g* bewegbaren Zahnstangen *ef*, welche in die gezahnten Ränder *hk* und *h₁k₁* der gußeisernen Sektoren *bhk* und *b₁h₁k₁* eingreifen, werden letztere um die Achsen *b* bzw. *b₁* gedreht. Hierbei kommt der mit den dreieckigen Sektorenarmen in *a* und *a₁* gelenkig verbundene Überbau aus der Lage *mn* in die parallele Lage *m'n'*. Für das Gleichgewicht der Brücke dienen die Gegengewichte *c* und *c₁*, sowie das um die Achse *l* drehbare Gegengewicht *d*, welches letztere den Zweck hat, die beim Heben der Brücke sich verringemde nützliche Komponente der beiden anderen Gegengewichte auszugleichen.

§ 14. Hubbrücken mit festliegenden Hauptträgern. Der Gedanke, zur Herstellung einer freien Durchfahrt nicht den ganzen Brückenkörper zu heben, sondern nur die an genügend hoch gelagerten Hauptträgern angehangene Fahrbahn lotrecht beweglich einzurichten, rührt vom Ingenieur Röper her (s. Litt. 1 nach § 15).

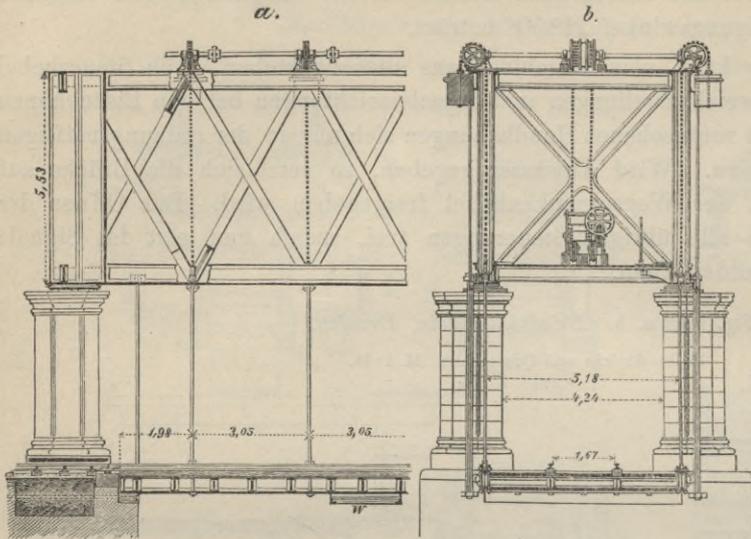
1874 ist eine nach ähnlichen Grundzügen von Whipple entworfene Hubbrücke in Utica (New York) über den 18 m breiten Erie-Kanal zur Ausführung gekommen (Litt. 5 nach § 15).

Die bis jetzt größte, nach diesem System ausgeführte Brücke ist die eingleisige Chitpore-Hubbrücke zu Kalkutta (Textfig. 29 a u. b) mit einer Öffnung von 35 m Lichtweite.

Die 36,6 m weit gespannten, 5,3 m hohen Hauptträger sind als Fachwerkträger konstruiert und liegen mit ihren Unterkanten auf steinernen Pfeilern, 4,8 m über Fahrbahn, um welchen Betrag letztere

Fig. 29 a u. b. Chitpore-Hubbrücke, Kalkutta.

a. Längsschnitt, b. Querschnitt. M. 1:200.



W Wasserbehälter (Gegengewichtsausgleich).

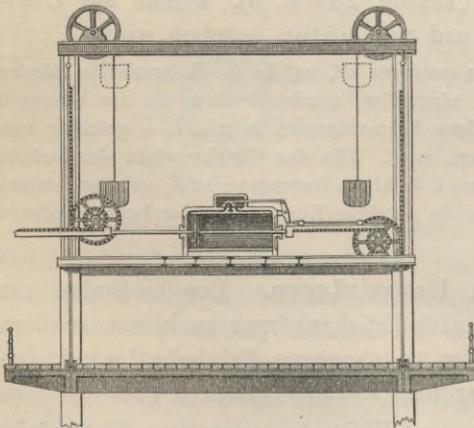
tion sind an den letzten Querträgern Rollen mit Doppelspurkränzen angeordnet, die sich gegen Führungsschienen lehnen.

Die seit 1878 bestehende Brücke soll sich sehr gut bewähren; besonders wird deren Steifigkeit beim Befahren mit Zügen (Geschwindigkeit 32 km in der Stunde) hervorgehoben. Näheres, besonders über die Gewichtsausgleichung der Fahrbahn siehe Litt. 8 nach § 15.

Während bei der beschriebenen Brücke die Bewegung durch Menschenkraft bewerkstelligt wird, dient zum Heben der 11,6 m breiten Straßsen-Hubbrücke über den Oswego-Syrakus-Kanal in Nordamerika der Druck der Stadtwasserleitung (Litt. 6 nach § 15).

Fig. 30. Hubbrücke, Oswego-Syrakus-Kanal.

M. 1:185.



der ersteren die dem Winde ausgesetzte Fläche der bewegten Teile kleiner ist. Man hat daher hier bei starkem Winde kleinere Reibungswiderstände zu überwinden.

§ 15. Bewegungsvorrichtungen. Erforderliche Bewegungskraft. Bei den meisten Hubbrücken wird das Gewicht der zu bewegend Massen durch Gegengewichte

gehoben werden kann. Zu diesem Zwecke sind an den 3,05 m voneinander abstehenden Fahrbahnquerträgern Zugstangen befestigt, deren obere Enden sich bei gesenkter Brücke auf die Unterkante der Hauptträger auflegen, während die als Verlängerungen der Zugstangen dienenden Ketten über oberhalb der Obergurte angebrachte Rollen gehen und an lotrechten Stangen geführte Gegengewichte tragen. Diese Rollen sitzen auf durchgehenden Wellen und werden von einem gemeinschaftlichen Getriebe in der Mitte der Brücke bewegt. Zur lotrechten Führung der ganzen beweglichen Konstruktion

Zu diesem Zwecke befindet sich (Textfig. 30) zwischen den Untergurten der 25,5 m langen Hauptträger ein Cylinder von 1,65 m Hub und 0,825 m Durchmesser. Die 0,11 m starke Kolbenstange liegt senkrecht zur Brückenachse und besitzt an jedem Ende eine Zahnstange, mit welcher sie je ein 0,60 m Zahnrad in demselben Sinne dreht. Diese Zahnräder bewegen zwei parallel zu den Trägern laufende Wellen, an denen 0,975 m Zahnräder befestigt sind, welche ihrerseits in die lotrechten, als Zahnstangen ausgebildete Verlängerungen der Fahrbahn-Hängestangen greifen. Hubhöhe der Brücke: 2,7 m.

Die Hubbrücken-Konstruktion mit festliegenden Hauptträgern bietet den Vorteil gegenüber den anderen Hubbrücken, dass bei

so weit als möglich ausgeglichen, sodafs im wesentlichen (ohne starke Windwirkung) nur die Bewegungswiderstände zu überwinden bleiben. Diese können hervorgerufen werden durch die Seilsteifigkeit, Kettenreibungen, Zapfenreibung der Rollen, Reibung in den Führungen infolge der Windwirkung und bei gröfserem maschinellm Antrieb durch die Widerstände in den Getrieben.

Als Bewegungskraft wurden früher hauptsächlich Menschenkraft und Wasserdruck verwendet, jetzt wird der Antrieb auferdem noch durch Elektromotoren und Dampfmaschinen betätigt. Bei Verwendung von Wasserdruck wird bei gröfseren Brücken das zu hebende Gewicht fast meist durch Gegengewichte ausgeglichen (Textfig. 21 u. 22 a), bei kleineren zu bewegenden Massen kann jedoch ein derartiger Ausgleich in Wegfall kommen und die Brücke unmittelbar auf Wasserdruckkolben gesetzt werden (Textfig. 20).

Die Ermittlung der erforderlichen Bewegungskraft möge an einer neueren gröfseren Ausführung (Hubbrücke, Lübeck, S. 25) gezeigt werden.

Zu heben ist das Eigengewicht und auferdem zeitweise auszugleichen die Hälfte der Schneelast, sowie der von den Holzteilen und der Fahrbahnabdeckung aufgenommenen Feuchtigkeit. Die Widerstände werden beim Heben am gröfsten für die nasse Brücke, beim Senken für die trockene. Aufer diesen Widerständen ist demnach das Gewicht der halben Schnee- und Feuchtigkeitslast unmittelbar zu heben. Es wurde für die Strafsenbrücke zu 7,40 und für die Eisenbahnbrücke zu 9,7 t berechnet. Führt man das Gewicht der Strafsenbrücke einschliesslich deren Fahrbahn und Auflager mit 244,3 t, das der Hebevorrichtungen selbst mit 19,7 t, die halbe Schnee- und Feuchtigkeitslast mit $\frac{1}{2} 7,4 = 3,7$ t ein, so beträgt das gesamte auszugleichende Gewicht $Q = 267,7$ t. Dies ruft auf 2 Kolben von 545 mm Durchmesser verteilt einen Druck von $q = \frac{267700 \cdot 4}{\pi \cdot 54,5^2 \cdot 2} = 57,3$ at hervor. Um die Kraftsammler (Text-

fig. 25 b) im Notfalle vertauschen zu können, wurde für die 256,9 t schwere Eisenbahnbrücke der Durchmesser des Druckkolbens $d = \sqrt{\frac{2 \cdot 256900}{57,3 \pi}} = 50,5$ cm ausgeführt. Bei 4,3 m Hub der letzteren Brücke beträgt der Kolbeninhalt $= 2 \cdot 0,25 \pi \cdot 5,05^3 \cdot 43 = 1722$ l. Der Kraftsammlerkolben von 620 mm Durchmesser hebt und senkt mit 92,67 mm/Sek. Geschwindigkeit; dessen gröfster Hub beträgt 6,3 m, gewöhnlich blofs 5,703 m; für die Strafsenbrücke entsprechend kleiner. Bewegungsdauer 55 Sek. und mit Einschluß der Zeit zum An- und Auslaufen der Motoren 1 Minute. Das Kraftsammlergewicht ist aus 3,55 t schweren (2,75 · 2,00 · 0,105 m, Textfig. 25 b) Gufseisenplatten zusammengesetzt und entspricht 1 at Kolbendruck einer Belastungshöhe von 115 mm. Das Eigengewicht des Kolbens nebst schmiedeisernen Anschlußrahmen ruft 4 at Druck hervor, deshalb ist noch eine Belastungshöhe von $115 \cdot 53 = 6200$ mm erforderlich, um die zum Ausgleich des Brückengewichtes erforderlichen 57 at zu erzeugen. Eine Regelung der Last kann auch mittels des Montagekranes im Maschinenhause erzielt werden. Die Bewegungswiderstände setzen sich zusammen

1. aus den Reibungen in den Führungen und zwar findet man bei 50 kg/qm Winddruck 7,875 t Druck auf die Eisenbahnbrücke und daraus 98 kg Reibung in jeder Führung. Hierzu kommen noch die Zahnäderreibung (2%), die Lagerreibung der Spindeln (ebensoviel), der Widerstand in jeder Aufsatzmutter (63 kg), der Widerstand in den Rädern der Parallelsteuerungen (72 kg), sowie der in der Welle (69 kg) und schliesslich die Stulpreibung für beide Kolben mit 2300 kg; dies zusammen giebt für die Eisenbahnbrücke, wenn man noch das Gewicht der zu hebenden halben Schnee- und Feuchtigkeitslast mit 3700 kg einführt, 8400 kg, oder auf die Kraftsammlerkolben übertragen: 7150 kg Last,
2. aus der Stulpreibung der Kolben mit 1500 kg,
3. aus der Reibung in den Führungen mit 300 kg,
4. aus dem Druckverlust der Leitung zu 1,85 at oder auf den Kraftsammlerkolben bezogen: 5600 kg.

Das Getriebe hat demnach bei der Eisenbahnbrücke $7150 + 1500 + 300 + 5600 = 14550$ kg und bei der Strafsenbrücke rd. 2000 kg weniger zu überwinden.

Mit der oben angegebenen Geschwindigkeit des Kraftsammlers sind mithin:

$$\frac{14550 : 0,09267^2}{0,7 \cdot 75} = 25,6 \text{ PS.}$$

bei 70% Wirkungsgrad des ganzen Antriebes erforderlich.

Tabelle II.
Zusammenstellung verschiedener Angaben über einige ausgeführte Hubbrücken.⁴⁾

No.	Ort der Brücke	Bestimmung derselben	Spannweite m	Lichtweite m	Breite m	Hubhöhe m	Trägerform	Trägerhöhe m	Gewicht t	Bewegungskraft	Bemerkungen	Literaturnachweis
1	Chitpore, Kalkutta	Eingl. Eisenb.	36,6	33,5	—	4,8	Parallelträger Fachwerk	5,3	—	Handbetrieb mit Wassergegengewicht	Textfig. 29, S. 30. Hauptträger fest auf vier Stempfeiern. Nur die Fahrbahn beweglich.	8
2	Eric-Kanal, Rochester	Straße	28,74	23,76	Fahrbahn 5,5; Fußwege je 1,5 auf Konsolen	4,0	Parallelträger Fachwerk	4,42	—	Druck der Stadtwasserleitung	Hauptträger fest, auf vier schweißeisernen Eckpfeilern. Fahrbahn beweglich.	12
3	Schiffswerft, Alt-Ofen	Straße	—	21,00	6,0	4,0	desgl.	2,16	45	Handbetrieb	Textfig. 16, S. 19. Vier schweißeiserner Ecktürme. Gesamter Überbau durch Ketten mit Gegengewichten gehoben.	14
4	Rue de la Crimée, Bassin Villette, Paris	Straße	20,00	15,00	7,40	4,6	Parallel-Gitterträger	2,00	—	Wasserdruck	Der ganze Überbau durch zwei Wasserdrukcyliner in 50–80 Sekunden gehoben. An den vier Ecken vier gußeiserner Ständer mit Kopffrollen, über welche die vier Ketten mit den Gegengewichten gehen. Kosten 112000 M. ausschließlich Mauerwerk.	2
5	Rhein-Marne-Kanal, Salinen de Rosières.	Eingl. Eisenb.	29,6	12,0	3,54 mit Konsolen	4,7	Blechträger	—	—	Handbetrieb	Textfig. 17, S. 20 Zum Heben des ganzen Überbaues dienen auf vier schweißeisernen Stützen hoch gelagerte feste Träger.	13
6	Kanal de l'Ourecq, la Villette, Paris	Zweigl. Eisenb.	—	Bewegl. Träger 8,5 normal bzw. 9,6 schief	8,1	4	Blechträger	—	20	Handbetrieb	Schief (74°) Erbaut 1868. Der gesamte Überbau wird gehoben. Hebewerk an festen oberen Trägern, welche zum Teil auf vier steinernen Ecktürmen, zum Teil auf den gewölbten Fußwegübergängen lagert sind. Textfig. 18, S. 21.	13

7	Friedrichstraße, Dresden	Straße	—	3,6	9,0	1,6	Blechträger	—	—	Handbetrieb	Wird durch mit Gegengewichten versehene Hebel von unten gehoben. Textfig. 23, S. 29.	18
8	Larrey, (Vorstadt von Dijon)	Straße	—	6,1	Fahrb. 4,5 Fußwege je 0,8	2,0	Blechträger	—	28,5	Wasserdruck mit Kraftsammler	Die bewegliche Brücke wird an den vier Ecken gleichzeitig durch vier Preskolben gehoben. Kosten: 48365 M. außerordentlich hoch.	19
9	Chicago-Fluß Halsted	Straße	39,62	35,4	Fahrb. 10,36 Fußwege je 2,13	42,8	Fachwerksträger	7,02	290	Dampfmaschine	Zwei 70 pferdige Dampfmaschinen. Kürzeste Hubzeit 37 Sekunden. Kosten: 84000 M. (Vergl. Textfig. 19, S. 22.)	21
10	Lisfluß zu Houplines (Belgien)	Straße	7,25	7,25	4,0	2,9	—	—	12,0	Handbetrieb	Von der 24 m langen Brücke ist nur das 7,25 m lange Mittelstück beweglich. Kosten sehr hoch: 39080 M.	23
11	Lauenburger Schleuse	Schmalspurbahn, 60 cm	24,86	12,0	2,26	2,2	Parallel-Fachwerksträger	2,40	22,50	Selbsttätiger Hub	Textfig. 21, S. 24. An den Brückenden in lotrechten Schächten befindliche Schwimmsylinder von 2,5 m Durchmesser heben selbsttätig die Brücke.	24
12	Hafenstraße, Lübeck	Eingl. Eisenb.	45,00	—	5,75	4,3	Halbparabelträger	—	256,9	Wasserdruck	Textfig. 22 bis 27, S. 25–28. Die Hebevorrichtung durch je vier Hebesylinder unter den Auflagern bei der Brücke gleichartig.	24
13	Hafenstraße, Lübeck	Straßenbrücke	42,24	—	7,95	3,3	Halbparabelträger	—	267,7	Wasserdruck	Gemeinsamer Kraftsammler.	25
14	Urbanhafen, Berlin	Straßenbrücke	9,96	9,0	2,7, 3 = 14,6 Hiervon je 5,02 Fahrb.	2,5	Blechträger	1,0	85,0	Wasserdruck	Jede der zwei Brückenhälften kann unabhängig durch je vier Taucherkolben gehoben werden, 5 Minuten Hubdauer. 50 at Betriebsdruck. Kosten 104556 M. (Vergl. Textfig. 20, S. 23)	25

⁴⁾ No. 1 bis 7 ältere und No. 8 bis 14 neuere Ausführungen.

Litteratur

(zugleich nach der Zeitfolge geordneter Quellennachweis).⁵⁾

Hubbrücken betreffend.

1. Röper. Eine neue bewegliche Brücke. Wochenbl. d. Berliner Arch.-Ver. 1867, S. 332, 350, 368, 409; 1868, S. 414.
2. Eisenbahnbrücke über den Rhein-Marne-Kanal bei den Salinen de Rosières und de Varangéville. Ann. industr. 1873, 1. Sem., S. 622.
3. Hubbrückenprojekt für Leads. Engineer 1873, 1. Sem., S. 128.
4. Laing. Proposed lifting bridge over the Tees at Middlesborough. Engineer 1873, I. S. 128.
5. Nouveau système d'un pont mobile à Utica. Ann. des ponts et chaussées. Chronique 1876, März, S. 390. (Aus Transact. of the Amer. soc. of civ. eng.; auch in Engng. 1875, I. S. 80, mit Abb.)
6. Mohr u. Schönfelder. Hubbrücke zu Utica. Zeitschr. f. Bauw. 1878, S. 38 u. Blatt D.
7. Mathyssen. Projektirte Hubbrücke in der Strafsen- und Eisenbahnbrücke über die Schelde in Antwerpen. Engng. 1878, I. S. 140. (Auch Eisenbahn 1878, S. 99.)
8. Die Chitpore-Eisenbahn-Hubbrücke in Kalkutta. Engng. 1882, II. S. 353, mit Abb. — Wochenbl. f. Arch. u. Ing. 1883, S. 252, mit Abb.
9. Pitt-Bailey. Entwurf einer Hubbrücke unterhalb London. Engineer 1883, II. S. 146, mit Abb.
10. Die Hubbrücke über den Erie-Kanal nächst Rochester. Ann. des ponts et chaussées 1885, I. S. 475, mit Abb. (Auch Centralbl. d. Bauverw. 1883, S. 325.)
11. Strafsen-Hubbrücke über den Oswego-Syrakus-Kanal in Nordamerika. Génie civil 1884, V. S. 257, mit Abb.
12. Die Strafsen-Hubbrücke an der Schiffswerfte in Alt-Ofen. Wochenbl. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1885, S. 15, mit Abb.
13. Pont levant sur le canal de l'Ourcq à la gare du marché aux bestiaux de la Villette. Génie civil 1885, II. S. 1 u. Taf. I.
14. Hubbrücke in der Rue de la Crimée, Bassin de la Villette, Paris. Ann. des ponts et chaussées 1886, I. S. 711 u. Taf. XX.
- *15. Diefenbach. Über Hamburgs Entwicklung u. s. w. Glasers Ann. 1890, Bd. 26, S. 218, mit Abb.
- *16. Ch. Steiner. Proposed method for operating a vertical lift draw-bridge. Engng. news 1892, I. S. 652, mit Abb.
- *17. J. A. Waddell. A proposed lift bridge at Duluth. Railroad Gaz. 1892, S. 259 mit Taf.
- *18. M. Galliot. Le pont levant de Larrey. Ann. des ponts et chaussées 1893, II. S. 261 mit Abb. u. Taf. — Génie civil 1894, Bd. 25, S. 161, mit Abb. u. Taf. — Fortschrittsheft Fig. 79, S. 78.
- *19. Lift bridge over the Chicago river (Halsted). Engng. 1894, I. S. 776, mit Abb. u. Taf.; ebendasselbst 1894, II. S. 6 u. 24 mit Abb. — Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 378 mit Taf.; ebendasselbst 1895/96, Bd. 28, S. 81, mit Abb. u. Taf. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1893, S. 191 u. 656, mit Abb. — Railroad Gaz. 1893, S. 143, mit Abb.; ebendasselbst 1894, S. 320, mit Abb. u. Taf. — Zentralbl. d. Bauverw. 1894, S. 102, mit Abb. — Nouv. ann. de la constr. 1894, S. 138, mit Abb. — Americ. soc. of civ. eng. 1895, S. 1, mit Abb. u. Taf. — Engineer 1896, II. S. 223, mit Abb. — Stahl u. Eisen 1897, I. S. 88. — Fortschrittsheft Fig. 75, 77 u. 78, S. 74—76.
- *20. A new lift bridge for Kansas city. Railroad Gaz. 1895, S. 861. — Engng. news 1895, II. S. 401. — Fortschrittsheft S. 81, Litt. 9.
- *21. Pont Levant sur la Lis à Houplines. Ann. de trav. publ. de Belgique 1896, I. S. 7, mit Abb. u. Taf. — Fortschrittsheft S. 81, Litt. 10.
22. Hubbrücke über den Murray bei Swan-Hill. Engineer 1897, II. S. 506, mit Abb.
23. M. Foerster. Die Lauenburger Hubbrücke. Bauingztg. 1900/01, S. 133, mit Abb.; auch Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1900, S. 765, mit Abb.
24. Bernhard. Hubbrücke in der Hafenstraße zu Lübeck. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1900, S. 779, mit Abb.
25. Hubbrücke am Urbanhafen in Berlin. Die Strafsenbrücken der Stadt Berlin S. 199, mit Abb. u. Taf.
26. Hubbrücke über die Einfahrt im Hafen zu Magdeburg. Zentralbl. d. Bauverw. 1903, S. 556, mit Abb.
27. J. A. Waddell. De pontibus, a pocket-book for bridge engineers. S. 113, ohne Abb.

⁵⁾ Siehe Anm. 3, S. 18.

C. Zugbrücken.

§ 16. Konstruktionsgrundgedanke. Einfache und doppelte Zugbrücken.

Jede Zugbrücke besteht aus einer um eine wagerechte Endachse drehbaren Klappe, welche mittels Seilen oder Ketten aufgezogen und niedergelassen werden kann. Die verschiedenen Zugbrücken-Systeme unterscheiden sich hauptsächlich durch die zur Herstellung des Gleichgewichtes der Klappe dienenden Teile.

Soll nämlich die Zugbrücke für jede Stellung der Klappe im Gleichgewichte sein, so muß, wenn man von der Überwindung der Bewegungswiderstände (Reibung u. s. w.) absieht, die von der bewegenden Kraft in jedem Augenblicke zu leistende Arbeit gleich Null sein. Dieses kann aber nur dann stattfinden, wenn auch die Arbeit des Gewichtes von dem ganzen bewegten System gleich Null ist, d. h. wenn der Schwerpunkt des Gesamtsystems sich bei der Bewegung der Brücke weder hebt noch senkt, sondern sich nur längs einer Wagerechten verschiebt. Die in neuester Zeit in den Vereinigten Staaten Nordamerikas ausgebildeten Brückenkonstruktionen (§ 23 u. 24 u. Textfig. 45 u. 46), bei denen die Hebung der Klappen zwar gleichfalls größtenteils (Fig. 45) oder ausschließlich (Fig. 46) durch Zugketten oder Seile erfolgt, die letzte Bedingung jedoch nicht erfüllt wird, sollen nicht zu den Zugbrücken im engeren Sinne gezählt werden.

Die Zugbrücken sind hauptsächlich bei Festungstoren zur Anwendung gekommen, und zwar einflügelig, mit der Aufzugsvorrichtung auf einer Seite (Torseite). Doch findet man in Frankreich, Holland und Norddeutschland auch Zugbrücken bei Strafsen über Kanäle oder auch als Schiffsdurchlässe bei festen Brücken, wobei erstere bei Spannweiten bis zu 6 m einflügelig, darüber hinaus zweiflügelig konstruiert werden. Die einflügeligen Zugbrücken haben den wesentlichen Vorteil einer beiderseitig sicheren Lagerung der niedergelassenen Klappe, während bei zweiflügeligen Zugbrücken die beiden Klappen sich in der Mitte der Spannweite meistens gegeneinander stemmen und so ein flaches, sehr stark schiebendes Sprengwerk bilden. Um letzterem Übelstand abzuwenden, hat man bei Konstruktionen aus der neuesten Zeit zwischen den beiden Klappen einen kleinen Spielraum gelassen, so bei der Portalbrücke am Oberhaupt der Schleuse bei Rendsburg (Litt. 10 nach § 34).

Um daher den zweiflügeligen Zugbrücken eine bessere Unterstützung in der Mitte bei niedergelassener Klappe zu verschaffen, hängt man letztere entweder an besondere, an den Portalen befestigte Haltketten auf, oder man setzt, falls die erforderliche Konstruktionshöhe vorhanden ist, bewegliche Streben *b* unter die Längsträger der Klappen (Textfig. 31). Bei dem Aufziehen der Klappe werden die Streben durch die eisernen Hängestangen *d* nachgezogen, wobei die ersteren sich um ihre gemeinschaftliche Achse *e* drehen und sich schließlich in entsprechende Vertiefungen der Mauer bündig einlegen.

Fig. 31.
Hölzerne Zugbrücke mit Ziehbäumen.

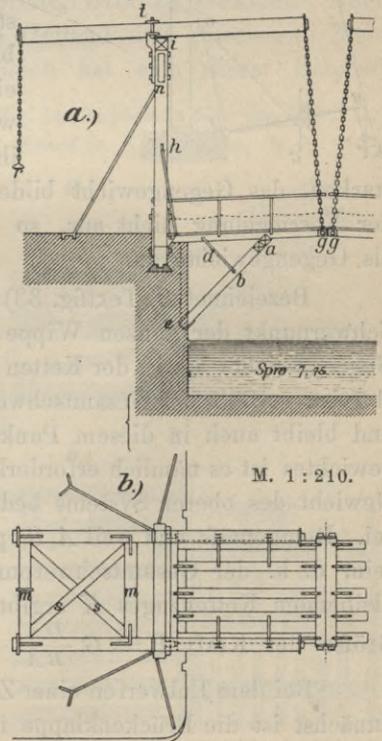
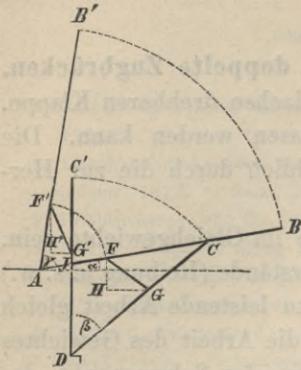


Fig. 32.



Bezeichnet man (Textfig. 32) den Anstiegswinkel von AB mit α , den Drehwinkel BAB' der Klappe mit γ , den Drehwinkel CDC' der Strebe bis zur Vertikalen mit β , und nennt man ferner $AJ = a$, $DJ = b$, $AF = x$ und $DG = y$, so folgt, weil $GH^2 + FH^2 = G'H'^2 + F'H'^2$ bleibt:

$$\begin{aligned} & [(a - x) \cos \alpha + y \sin \beta]^2 + [b - y \cos \beta + (x - a) \sin \alpha]^2 = \\ & [(a \cos \alpha - x \cos(\alpha + \gamma))^2 + [b - y - a \sin \alpha + x \sin(\alpha + \gamma)]^2. \end{aligned}$$

Man kann x oder y beliebig wählen und hiernach die andere Länge bestimmen.

Die ausgeführten bzw. in Vorschlag gebrachten Zugbrücken lassen sich einteilen in solche

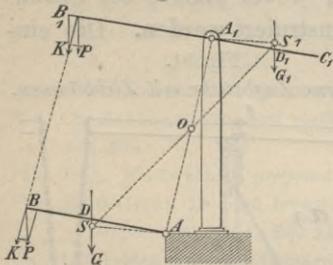
- a) mit gleichbleibendem, und
- b) mit veränderlichem Gegengewichte.

Die Zugbrücken werden zwar in neuerer Zeit durch andere bewegliche Brückenkonstruktionen mehrfach verdrängt, haben jedoch auch jetzt noch, sofern man das Holz als zu vergänglichem und unzuverlässigen Baustoff verläßt und durch Eisen ersetzt, ein nutzbringendes Anwendungsgebiet. Vergl. z. B. die neuesten holländischen Brücken (Textfig. 35) und die Portalbrücke bei Rendsburg (Litt. 10 nach § 24).

a) Zugbrücken mit gleichbleibendem Gegengewichte.

§ 17. Zugbrücken mit Ziehbäumen (vergl. Textfig. 31). Die Brückenklappe AB (Textfig. 33) ist mittels der Ketten BB_1 an den Vorderenden der sich um die Achse A_1 drehenden Doppelhebel B_1C_1 aufgehängt, und

Fig. 33.



zwar bilden die beiden Angriffspunkte BB_1 der Kette und die beiden Drehachsen AA_1 die vier Eckpunkte eines Parallelogramms, sodass Klappe und Ziehbaum einander stets parallel bleiben. Gewöhnlich kommen zwei Ziehbäume in Anwendung, die auf einem hölzernen oder eisernen Portale oder bei Festungen auf dem Tormauerwerke in angemessener Höhe über der Klappe sich um ihre Achse A_1 drehen, und hinter dieser mit einer

starken, das Gegengewicht bildenden Verriegelung versehen sind. Reicht das Gewicht der Verriegelung nicht aus, so wendet man mit Steinen oder Eisen gefüllte Kästen als Gegengewichte an.

Bezeichnet S (Textfig. 33) den Schwerpunkt der Brückenklappe, ist ferner S_1 der Schwerpunkt der ganzen Wippe (d. h. der Ziehbäume samt ihrer Verriegelung und der Gegengewichte sowie der Ketten BB_1) und richtet man es so ein, daß A_1S_1 parallel zu AS ist, so fällt der Gesamtschwerpunkt O in den Durchschnittspunkt von SS_1 und AA_1 und bleibt auch in diesem Punkte bei jeder Stellung der Brücke. Wegen des Gleichgewichtes ist es nämlich erforderlich, daß, wenn G das Gewicht des unteren, und G_1 das Gewicht des oberen Systems bedeutet, für jede Stellung der Brücke $G \cdot AS = G_1 \cdot A_1S_1$ sei. Demgemäß und weil A_1S_1 parallel zu AS bleibt, wird auch stets $G \cdot SO = G_1 \cdot S_1O$ sein, d. h. der Gesamtschwerpunkt in O bleiben. Die Größe des sich stets parallel bleibenden Kettenzuges K ergibt sich leicht nach dem Kräfteparallelogramm aus der Größe der Kraft $P = G \frac{DA}{BA}$.

Bei dem Entwerfen einer Zugbrücke mit Ziehbäumen ist also wie folgt zu verfahren. Zunächst ist die Brückenklappe ihrem Zwecke entsprechend zu konstruieren, wodurch G

und die Strecke AD sich bestimmen. Nach Annahme einer vorläufigen Lage für die Drehachse A_1 wird man zunächst angenähert die Abmessungen der Ziehbäume und der erforderlichen Gegengewichte derart bestimmen, daß einerseits $G_1 \cdot A_1 D_1 = G \cdot AD$ ist und andererseits den Festigkeitsbedingungen genügt wird. Am schwierigsten ist die Bedingung zu erfüllen, daß $AS \parallel A_1 S_1$ bleibt, weil der Unterschied zwischen dem berechneten und dem wirklichen Gewicht nicht genau bekannt ist. Man hat bei einigen Brücken die Drehachse A_1 beweglich gemacht, dann auch die Wippe B, C_1 verschieblich angeordnet oder die Form des Gegengewichtes geändert (vergl. hierüber den Aufsatz von Sympher: „Bewegliche Brücken in Holland“, Zeitschr. f. Bauw. 1885, S. 542; Litt. 4 nach § 24). Hierbei ist es ratsam, auch auf die elastische Durchbiegung der Ziehbäume, welche in bekannter Weise zu berechnen ist, Rücksicht zu nehmen, da diese Durchbiegung an den Vorderenden der hölzernen Ziehbäume bis zu 20 cm betragen kann. Bei Eisen als Baustoff lassen sich die hieraus erwachsenden Übelstände vollständig vermeiden.

Während neue, richtig konstruierte Zugbrücken selbst bei Klappengewichten bis zu 3 t durch einen Mann leicht bewegt werden können, wächst bei älteren Zugbrücken infolge der Störung des Gleichgewichtes durch das Austrocknen und Schwinden des Holzes, durch Änderung der Elastizität desselben u. a. m. die erforderliche Zugkraft bis zu derjenigen von 4 bis 6 Mann. Eine Verbesserung kann selbstverständlich nur durch Wiederherstellung der genauen Form des Parallelogramms $AA_1 BB_1$ und der Gleichheit der statischen Momente erzielt werden.

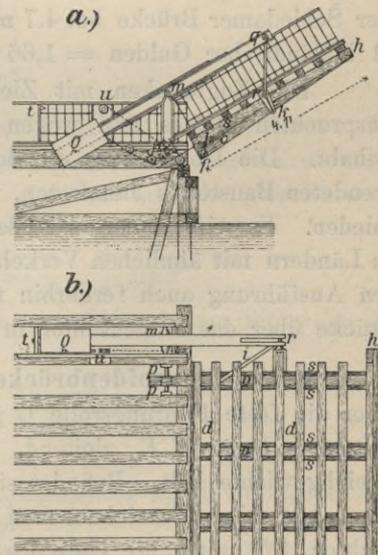
§ 18. Baustoff. Ausgeführte Zugbrücken mit Ziehbäumen. Die Klappen der älteren Zugbrücken sind fast immer aus Holz gemacht worden und man findet bei französischen Festungsbrücken kleinere Klappen von 4 m Länge, 3,8 m Breite, 2800 kg Gewicht und größere Klappen von 7 m Länge, 4 m Breite, 6100 kg Gewicht. Auch die Ziehbäume machte man früher stets aus Holz. In Holland sind gußeiserne Ziehbäume mit gußeisernen Portalen versucht worden, doch hat sich dieser Baustoff wegen seiner geringen Stoffsfestigkeit schlecht bewährt (Einsturz der Dortrechter Brücke). Hierauf sind öfters schweißeiserner Ziehbäume zur Anwendung gekommen. In neuerer Zeit werden sowohl Ziehbäume wie Portale aus Schweifs- bzw. Flusseisen hergestellt.

Als Beispiel für eine durchweg hölzerne Zugbrücke ist in Textfig. 31 (S. 35) diejenige für eine Straße über den Kanal St. Martin dargestellt. Abstand der Drehachsen beider Klappen 9 m; Längen der Brückenklappen 5,8 bzw. 5,5 m.

Fig. 34 zeigt eine hölzerne Zugbrücke mit eisernen Ziehbäumen. Planiesteigung 1 : 40; lichte Weite 9,42 m; Fahrbahnbreite 4,4 m; Fußwegbreite 1,1 m; Höhe über Mittelwasser an den Jochen nur 1,88 m. Die Hölzer bb , welche in die Hölzer h und f verzapft sind, bilden ein flaches Sprengwerk. An der durch Armierung verstärkten mittleren Querschelle befinden sich die Stahlbolzen rr , an welchen die Aufzugstangen rq angreifen. Die Achse pp , deren Lager von der anschließenden festen Brücke getragen werden, erhält nur wenig Druck, da die Klappe durch das gußeiserne, durch Bleikugeln zu regulierende Gegengewicht Q ausbalanciert ist.

Zur Bewegung der Brücke dient die an Q befestigte, über mehrere Führungsrollen hinweggehende und auf die Scheibe u

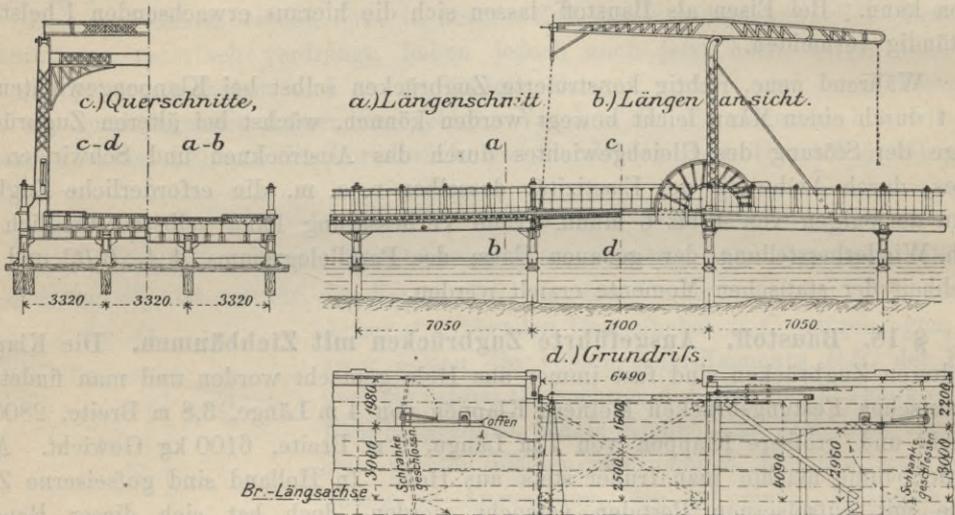
Fig. 34. Zugbrücke über den Nyhavens-Kanal in Kopenhagen. M. 1 : 200.



sich aufwickelnde Kette. Die Scheibe u wird durch ein Windevorgelege gedreht und zwar kann ein Mann eine Klappe in 50 Sekunden öffnen und schliessen.

Textfig. 35 zeigt als Beispiel einer, mit Ausnahme des Fahrbahnkörpers, vollständig aus Eisen hergestellten Zugbrücke die 1895 erbaute Rottebrug bei Amsterdam; deren Hauptabmessungen und allgemeine Anordnungen sind aus der Textfig. 35 unmittelbar zu entnehmen. Diese Brücke wird ähnlich wie die 1902 erbaute Schiedamer Brücke, die als eine der größten Brücken gelten kann, durch ein Getriebe bewegt. Die Einzelheiten des Getriebes für die letztgenannte Brücke zeigen die Textfig. 36 *a* bis *d* und zwar Textfig. 36 *a* den Anschluß des Zahnkranzquadranten und des Getriebes an den Portalpfosten und Textfig. 36 *c* den des Zahnkranzes an den Hauptträger (letztere Textfigur ist der Raumersparnis halber um 90° gedreht).

Fig. 35. Rottebrug nächst Rotterdam. M. 1:300.

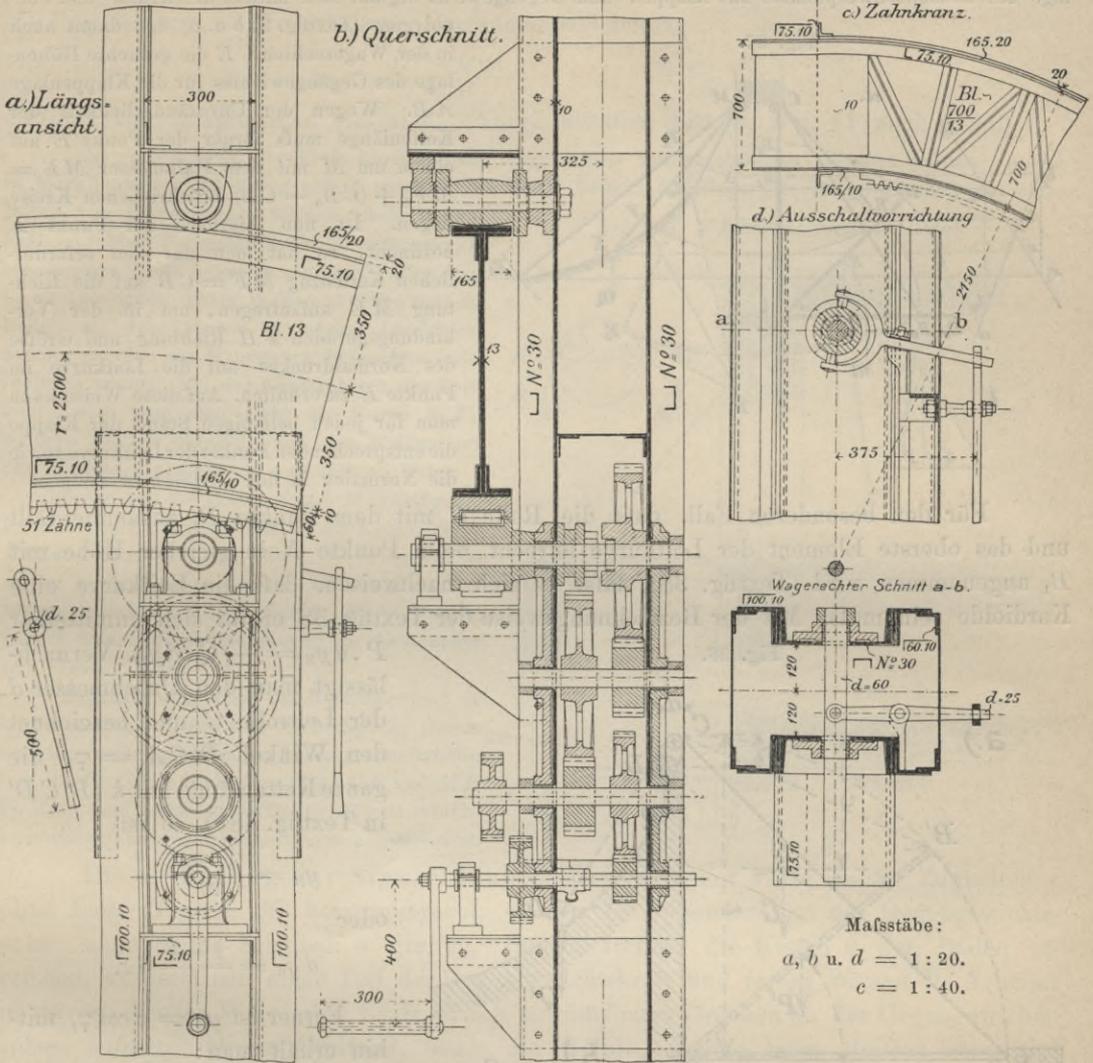


Nach der Angabe Doeder's, des Erbauers dieser neuesten holländischen Brücken, sind deren Kosten mäfsig und belaufen sich z. B. für die gesamte Eisenkonstruktion der Schiedamer Brücke bei 4,7 m Brückenbreite und 9,5 m Lichtweite auf rd. 16700 M. (1 holländischer Gulden = 1,66 M.)

Die Zugbrücken mit Ziehbäumen haben wegen des geringen von ihnen beanspruchten Platzes und wegen ihrer Billigkeit sich grosser Verbreitung zu erfreuen gehabt. Die Übelstände, die den hölzernen Zugbrücken hauptsächlich wegen des verwendeten Baustoffes anhafteten, werden bei Verwendung von Eisen fast vollständig vermieden. Es wird daher in Holland, wo sie bisher die größte Verbreitung hatten, sowie in Ländern mit ähnlichen Verkehrsbedingungen dieses Brückensystem in seiner verbesserten Ausführung auch fernerhin mit Erfolg angewendet werden. Vergl. auch die Portalbrücke über das Schleusentor in Rendsburg (Litt. 10 nach § 24).

§ 19. Sinusoidenbrücke von Belidor (Textfig. 37). An der Zugkette, welche über die feste Führungsrolle C geht, ist ein Gewicht Q angehängt, welches auf einer krummen Bahn $E_0 E_1$ gleitend, in jeder Stellung der Brückenklappe AD letztere im Gleichgewichte hält. Befindet sich z. B. die Klappe in der Lage AD , so mag Q in E angelangt sein. Bezeichnet man die Höhe des Klappenschwerpunktes S über der Wagerechten AD_0 mit y , die Tiefe des Gewichtes E unter der Wagerechten durch die Anfangs-

Fig. 36. Windwerk der Schiedamer Zugbrücke.



lage E_0 mit q , die lotrechte Höhe von E_0 über A mit h , die Länge der Klappe AD mit l und das Klappengewicht mit G , so muß, da nach § 16 der Gesamtschwerpunkt des beweglichen Systems sowohl bei der Klappenlage AD , als auch bei der Klappenlage AD_0 dieselbe Höhe über dem Horizonte AD_0 behalten soll,

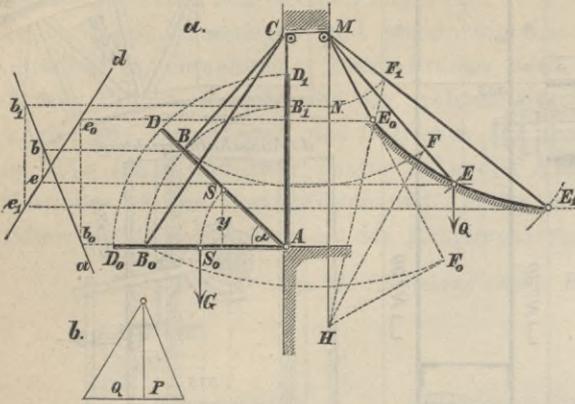
$$Gy + Q(h - q) = Qh \text{ oder } q = \frac{G}{Q} \cdot y = \frac{G}{Q} \cdot \frac{l}{2} \sin \alpha$$

sein. Die Ordinaten der Leitkurve E_0E_1 müssen also proportional dem Sinus des Erhebungswinkels der Klappe gemacht werden.

Die Gestalt der Führungskurve E_0E_1 (Textfig. 37 a) läßt sich folgendermaßen zeichnerisch ermitteln. Stellt man die auf B_0 treffende Komponente P des Klappengewichtes G durch die Gerade AC dar, wobei $P = G \cdot \frac{AS_0}{AB_0}$, so giebt für jede beliebige Klappenstellung AB die Strecke BC die Größe des Kettenzuges selbst. Für die willkürlich gewählte Anfangsstellung E_0 des Gegengewichtes Q findet man Richtung und Größe der Kettenzugkraft, indem man $MF_0 = CB_0$ macht. Der Schnittpunkt H der auf MF_0 gezogenen Senkrechten schneidet in den Strecken MH und HF_0 die Größe

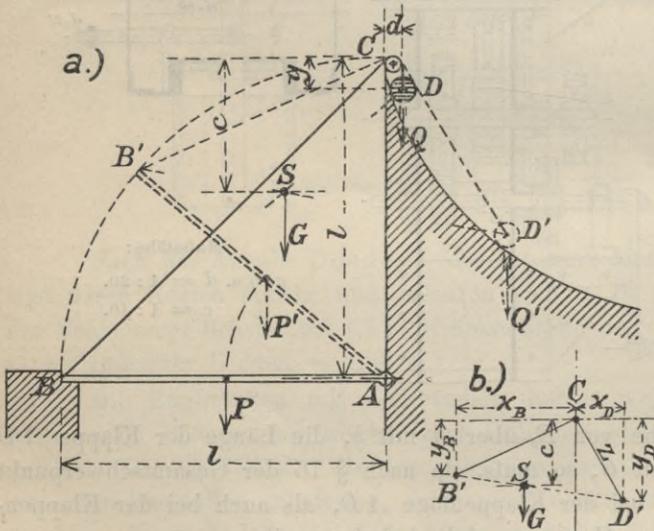
des gesuchten Gegengewichtes und dessen Druck auf die Führungskurve ab. Die unveränderliche Höhenlage des Gesamtschwerpunktes aus Klappen- und Gegengewicht ergibt sich mittels des Kräfte- und Seilpolygons (Textfig. 37 b u. a) und damit auch in der Wagerechten CE die gesuchte Höhenlage des Gegengewichtes für die Klappenlage AB . Wegen der Unveränderlichkeit der Kettenlänge muß ferner der Punkt E auf einem um M mit dem Halbmesser $ME = ME_0 + (CB_0 - CB)$ beschriebenen Kreise liegen. Ist nun hiernach der Punkt E bestimmt, so hat man nur den erforderlichen Kettenzug $MF = CB$ auf die Richtung ME aufzutragen, um in der Verbindungsgeraden FH Richtung und Größe des Normaldruckes auf die Leitkurve im Punkte E zu erhalten. Auf diese Weise kann man für jeden beliebigen Stand der Klappe die entsprechenden Punkte der Leitkurve sowie die Normalen in den letzteren bestimmen.

Fig. 37.



Für den besonderen Fall, daß die Rolle C mit dem Punkte B_1 zusammenfällt und das oberste Element der Leitkurve lotrecht beim Punkte N in gleicher Höhe mit B_1 angenommen wird (Textfig. 38), läßt es sich nachweisen, daß die Leitkurve eine Kardioide sein muß. Mit der Bezeichnungswise der Textfig. 38 ergibt sich unmittelbar

Fig. 38.



$P \cdot dy_B = - Q \cdot dy_D$. Vernachlässigt man den Durchmesser d der Leitrolle C und bezeichnet den Winkel $D'CA = \varphi$, die ganze Kettenlänge mit k ($B'CD'$ in Textfig. 38b), so ist

$$y_B = \frac{(k-z)^2}{2l}$$

oder

$$dy_B = \frac{z-k}{l} dz.$$

Ferner ist $y_D = z \cos \varphi$, mithin erhält man:

$$P(k-z) dz = Ql \cdot d(z \cos \varphi)$$

und damit:

$$P \left(k - \frac{1}{2} z \right) = Ql \cos \varphi.$$

Für die Ausgangslage AB muß $Q = P\sqrt{2}$ und die Fadenlänge $k = l\sqrt{2}$ sein. Hieraus findet sich $z = 4l\sqrt{2} \cdot \sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)$ als Gleichung der Leitkurve des Gegengewichtes. Dies ist eine Kardioide, deren rollender und deren als Basis dienender Kreis die Halbmesserränge $l\sqrt{2}$ besitzen. Bequemer berechnet sich die Leitkurve aus der Gleichung:

$$z = l \left[\sqrt{2} - \sqrt{2 \left(1 - \frac{y_D}{l} \right)} \right],$$

die man schließlich erhält, wenn man den aus der Gleichgewichtsbedingung

$$c \left(Q + \frac{1}{2} P \right) = \frac{1}{2} Pl$$

gefundenen unveränderlichen Abstand $c = \frac{Pl}{2G}$ in die aus der Gleichgewichtsbedingung $\frac{1}{2} P \cdot y_B + Q \cdot y_D = Gc$ erhaltene Bestimmungsgleichung

$$y_B = \frac{Gc - Qy_D}{0,5G}$$

einführt und entsprechend umformt. (Vergl. hierüber Litt. 3, 5 u. 11 nach § 24.)

In obigem sind, der Einfachheit halber, verschiedene Voraussetzungen gemacht worden, welche in Wirklichkeit nicht streng erfüllt werden. Zunächst besteht das Gegengewicht gewöhnlich aus einer Reihe von Gußblöcken, welche nach Bedarf auf einer über die ganze Brückenbreite sich erstreckenden Welle befestigt werden (Textfig. 39 a u. b). Die Enden dieser Wellen erhalten 0,25 m hohe, mit Spurkränzen versehene Laufräder, welche auf den am Mauerwerk befestigten Leitbahnen laufen. Bei der Konstruktion der Leitkurve wird man also nicht die Kurve E_0E_1 , sondern die ihr parallele, um den Halbmesser der Laufräder abtastende auszuführen haben.

Ferner sind die Rollen C und M (Textfig. 37) keine mathematischen Punkte: die Kettenteile BC und ME berühren daher die Rollen nicht immer in demselben Punkte. Die richtigen Berührungspunkte i_0, i, i_1 oder k_0, k, k_1 werden jedoch leicht durch Zeichnung zu bestimmen sein (Textfig. 39 c).

Um schliesslich auch das Kettengewicht zu berücksichtigen, wird man nachträglich, indem man die vorläufig gefundene Leitkurve zu Grunde legt, die Gewichte der Kettenteile CB und ME im Kraft- und Seilpolygon (Textfig. 37) mit aufnehmen und so eine genauere Leitkurve konstruieren.

Die Bewegung der Sinusoidenbrücken wird mit Hilfe zweier Zugketten v ohne Ende (Textfig. 39) hervorgebracht, welche um besondere an der Gegengewichtsachse angebrachte Scheiben u greifen. Sobald freilich die Ketten v den Boden erreichen, verliert man einen Teil der Gegengewichtskraft und ferner müssen die Arbeiter in unvorteilhafter Weise ihre Kraft, durch unmittelbares Drücken an der Gegengewichtsachse, äufsern. Dieser Umstand, sowie die Gefahr, welche beim Reißen einer der Ketten durch das Niedergehen der schweren Gewichte entsteht, sind die hauptsächlichsten Gründe, welche der Anwendung der Sinusoidenbrücken entgegenstehen. Eine der ältesten Brücken mit Sinusoidenzugklappen ist die große Jungfern-Brücke in Berlin (vergl. Die Straßenbrücken der Stadt Berlin, I. Bd., Abb. 21, S. 20 d. Litt.-Nachw. 13 nach § 24).

§ 20. Zugbrücken mit Spiralfädern von Derché (1810 zuerst ausgeführt).

Bei diesen wirkt das Gegengewicht nicht mit einer Komponente, sondern in seinem vollen Betrage, jedoch an verschiedenen großen Hebelarmen, sodafs in jedem Augenblicke das statische Moment des Gegengewichtes gleich dem statischen Momente des erforderlichen Kettenzuges ist. Zu diesem Zwecke hängt auf jeder Seite der Brücke das Gegengewicht Q (Textfig. 40 a u. b) mittels einer Kette an einem mit spiralförmigem Umfange versehenen Rade D . Letzteres ist an der Welle a befestigt, welche gleichzeitig die Räder E trägt, die zum Aufwinden der über die Rolle C nach der Klappe gehenden Zugkette BC dient. Die Räder F tragen die Kette J , an welcher die Arbeiter ziehen.

Fig. 39. Zugbrücke nach Belidor.

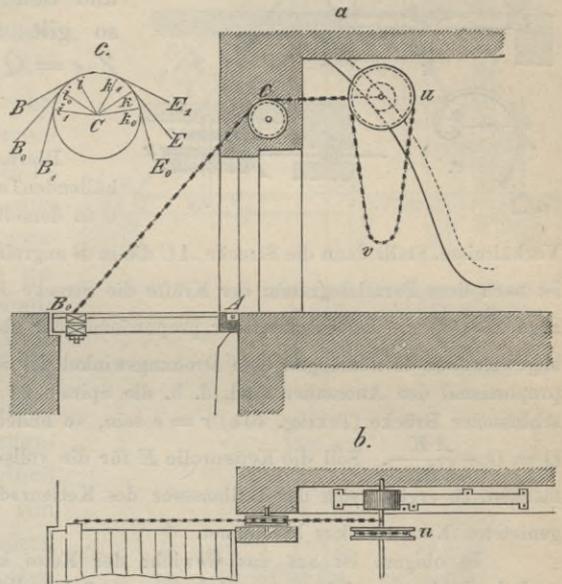
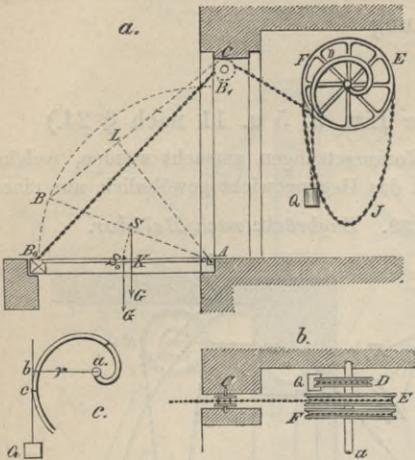


Fig. 40. Zugbrücke nach Derché.



Setzt man voraus, daß der Klappenschwerpunkt S mit dem Drehpunkt A und dem Aufhängungspunkt B sich in einer Geraden befindet, so hat man für den Kettenzug Z in BC die Beziehung (für A als Momentenachse) $G \cdot AK = Z \cdot AL$. Bezeichnet man andererseits (Textfig. 40c) den Abstand ab der die Spirale D in c berührenden Gegengewichtsrichtung Qc von der Achse a mit r und den Halbmesser des Kettenrades E mit e , so gilt für das Gleichgewicht des Spiralrades $Z \cdot e = Q \cdot r$. Aus beiden Gleichungen folgt

$$r = \frac{Z}{Q} \cdot e = \frac{G}{Q} \cdot \frac{AK}{LA} \cdot e \dots 1.$$

Hiernach kann man leicht die Spirale mit Hilfe ihrer einhüllenden Tangenten konstruieren. In dem besonderen Falle, wenn C in derselben Lotrechten wie A liegt, vereinfachen sich die

Verhältnisse. Stellt dann die Strecke AC die in B angreifende Gewichtskomponente $P = G \cdot \frac{AS}{AB}$ dar, so ist nach dem Parallelogramm der Kräfte die Strecke BC für jede Klappenstellung gleich dem Kettenzuge $Z = \frac{Q}{e} \cdot r$. Es nimmt also r proportional der abgewickelten Kettenlänge zu. Da nun aber diese abgewickelten Kettenlängen dem Drehwinkel der Spiralradachse a entsprechen, so folgt, daß die r proportional den Anomalien sind, d. h. die Spirale ist in diesem Falle eine archimedische. Soll bei geschlossener Brücke (Textfig. 40a) $r = e$ sein, so findet sich hierfür die Größe des Gegengewichtes aus $Q = G \cdot \frac{AK}{AL_{\min}}$. Soll die Kettenrolle E für die vollständige Hebung der Klappe blofs eine Umdrehung machen, so ergibt sich der Halbmesser des Kettenrades aus $e = \frac{k}{2\pi}$, wenn k die Länge des aufgenieteten Kettenstückes bezeichnet.

In obigem ist auf das Gewicht der Kette keine Rücksicht genommen. Will man letzteres auch in Rechnung ziehen, so wird man zunächst die Spirale ohne Rücksicht auf das Kettengewicht konstruieren und hierauf für die fernere Behandlung die vorläufig gefundenen Kettenlängen und Gewichte zu Grunde legen.

Die Spiralräder D sowohl wie die Kettenräder E werden aus Eisen hergestellt (früher aus Holz). Da erstere keine symmetrische Figur haben, so muß man des Gleichgewichts halber an den Rädern E entsprechende Gegengewichte anbringen.

Die Brücken nach dem System Derché können bis zu Klappengewichten von etwa 2 t angewandt werden. Bei großen Klappenlängen wird die aufzuwindende Kettenlänge zu bedeutend.

b) Zugbrücken mit veränderlichem Gegengewichte.

§ 21. Zugbrücken mit veränderlichem Gegengewichte von Bergère, von Poncelet und von Lacoste. Bergère's Idee, die erforderliche Veränderlichkeit des Kettenzuges durch Eintauchen besonders geformter Gegengewichte in Flüssigkeitsbehälter zu erzielen, hatte, so viel bekannt, keinen praktischen Erfolg.

Bei den von Poncelet angegebenen Zugbrücken wird das Gegengewicht durch besondere, schwere Ketten $F_0 G_0 H_0 L$ (Textfig. 41 a u. b) gebildet, die mit dem einen Ende F_0 an die Zugkette $B_0 J F_0$ und mit dem anderen bei L an in das Mauerwerk eingelassenen, eisernen Konsolen befestigt sind (vergl. Textfig. 42b). Die Länge der Gegengewichtsketten ist etwas größer als die Entfernung $F_0 L$, sodafs die Ketten zwei stets je lotrechte Zweige bilden, die man so nahe als möglich nebeneinander anordnet.

Wenn die Klappe aus der Lage AB_0 in die Lage AB gelangt ist, so werden die Kettenpunkte F_0 und G_0 bzw. nach F und G gekommen sein. Das Stück F_0F ist gleich der aufgewickelten Zugkettenlänge. Da nun die Länge G_0GHH_0 stets gleich F_0F sein muß, so folgt, daß bei dieser neuen Lage der Klappe an der Zugkette ein kleinerer Teil der Gegengewichtskette, nämlich $FG = F_0G_0 - HH_0$ wirkt. Um daher die Klappe in jeder Stellung im Gleichgewichte zu erhalten, ist es nur erforderlich, jedem Teile der Gegengewichtsketten solche Abmessungen zu geben, daß die eben erläuterte Gewichtsverminderung in jedem Augenblicke gleich der Verminderung ist, welche die Spannung der Zugkette erfährt. Zu diesem Zwecke hat Poncelet für die Gegengewichtsketten die in Textfig. 42 *a* u. *b* gezeichnete, möglichst wenig Raum einnehmende Konstruktion angegeben. Gufseiserne Platten von 10 cm Breite, 21 cm Länge und 5 bis 8 cm Dicke sind nach Bedarf in verschiedener Anzahl auf etwa 25 mm dicken Bolzen angebracht. Zwischen je zwei Platten derselben Vertikalreihe bleibt ein Zwischenraum von 1 cm (Textfig. 42 *a*). Zum Auseinanderhalten der Platten, welche auf demselben Bolzen sitzen, dienen auf letztere gezogene Kupferringe.

Bezüglich der Berechnung der Abmessungen der einzelnen Strecken der Gegengewichtsketten s. S. 24 der Litt. 5 nach § 24.

Bei schweren Brückenklappen wendet man auf jeder Seite der Brücke zwei Gegengewichtsketten an (dies ist in der Textfig. 41 vorausgesetzt). Zur Bewegung der Brücke dient das etwa 1,2 m im Durchmesser haltende, mit Kette ohne Ende R versehene Rad F , welches mit der Kettenscheibe E von 0,6 m Durchmesser auf derselben Welle sitzt.

Die Poncelet'schen Brücken sind in größerer Anzahl zur Ausführung gelangt und haben sich bewährt (1821 Metz, dann Verdun, Straßburg, Belfort u. s. w.). Die Brücke zu Verdun, deren Klappe 3000 kg wiegt, soll nur einen Mann zu ihrer Bewegung erfordern.

Lacoste's Abänderungsanschlag ging dahin, die Gegengewichtsketten durch eine Anzahl verschieden großer gufseiserner Scheiben zu ersetzen, die beim Heben der Klappen sich nach abwärts bewegen und sich dabei eine nach der anderen auf immer kleiner werdende, feste eiserne Kränze aufsetzen (s. S. 25 der Litt. 5 nach § 24).

§ 22. Zugbrücken von Delille und von Bergère. Bei der von Delille angegebenen Konstruktion ist das auf einer Leitkurve E_0E_1 geführte Gegengewicht Q (Textfig. 43) durch feste Zugstangen B_0E_0 mit der Klappe verbunden.

Fig. 41. Zugbrücke nach Poncelet.

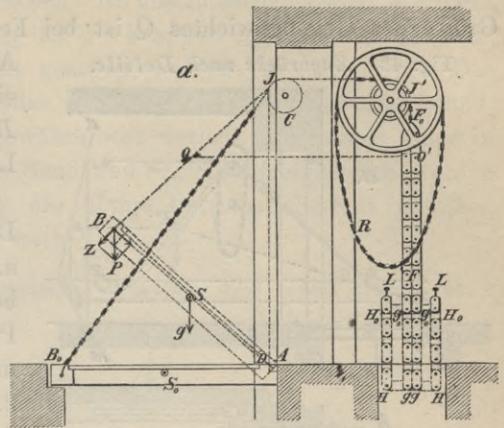
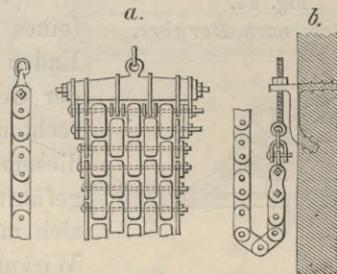


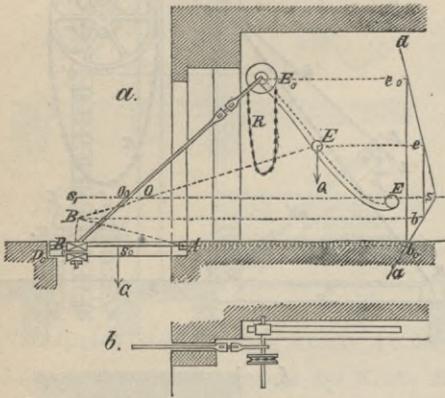
Fig. 42.



Die Bestimmung der Leitkurve erfolgt ähnlich wie im § 19, indem man zuerst die Gesamt­schwerpunktlage $s_1 - s$ bestimmt und hieraus für die einzelnen Klappenstellungen die entsprechenden Leitkurvenpunkte (Textfig. 43).

Das Verhältnis der in B_0 angreifenden Gewichtskomponente $P = G \cdot \frac{AS_0}{AB_0}$ zur Größe des Gegengewichtes Q ist bei Festungstoren zu etwa 0,4 angenommen worden.

Fig. 43. Zugbrücke nach Delille.



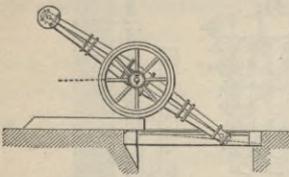
Als Angriffspunkt der Zugstangen wählt man einen mehr nach der Drehachse liegenden Punkt B_0 und nicht das Klappenende D_0 , um die Leitkurven E_0E_1 kürzer zu bekommen.

Die Delille'schen Zugbrücken, welche in Dünkirchen, Lille, Brest, Straßburg, Bitsch und a. a. O. Anwendung gefunden haben, stehen den beschriebenen Poncelet'schen in folgenden Punkten nach: 1. Gefahr für die Bedienungsmannschaft beim Brechen der Zugstangen; 2. Größere erforderliche Konstruktionslänge; 3. Bei Festungen, Nachteil der erforderlichen Mauerscharten für die Zugstangen.

Der Gedanke liegt nahe, die Leitkurven der Delille'schen Brücken (ähnlich wie Nöggerath für die von Belidor vorgeschlagen hat) annäherungsweise durch möglichst gut anschließende Kreise zu ersetzen und die Gegengewichte einfach als Kreispendel auszuführen. Diese Aufgabe ist in beachtenswerter Weise von Burmester (Zivilingenieur 1877, S. 325) gelöst worden.

Fig. 44.

Zugbrücke nach Bergère.



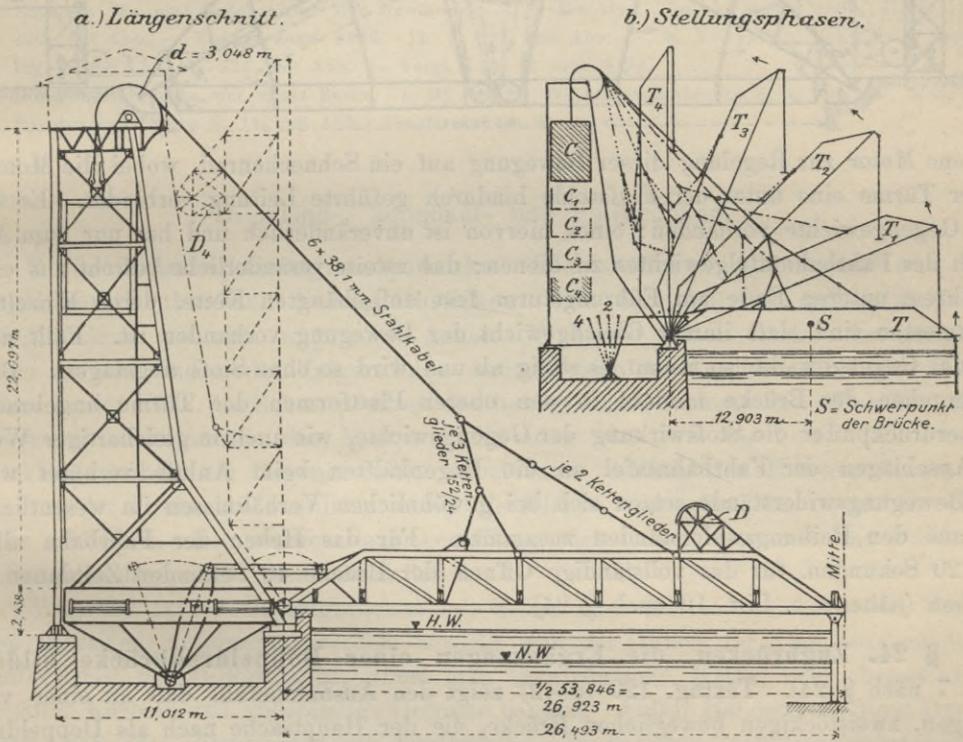
Bei der von Bergère vorgeschlagenen Konstruktion (eines fahrbaren Doppelhebels) wird nicht das an den Enden der Zugstangen befindliche Gegengewicht, sondern der Gesamt­schwerpunkt selbst und zwar auf einer wagerechten Leitschiene geführt. Textfig. 44 zeigt eine nach diesem Prinzip in den Aufsenwerken von Mons 1825 ausgeführte kleinere Brücke. Die Leitbahn aus Stein befindet sich nur in geringer Höhe über dem Boden. Über deren Wirkungsweise siehe S. 22 der Litt. 5 nach § 24.

§ 23. Amerikanische, maschinell angetriebene Doppel-Zugbrücken.

a) Doppel-Zugbrücke von E. Brown. Die in Textfig. 45 dargestellte, 1895 entworfene, bewegliche Brücke weicht von dem in § 16 erläuterten Konstruktionsgrundsatz nur insofern ab, als erst, wenn sich beim Öffnen der Brücke die Klappe der Endstellung T_4 (Textfig. 45 b) nähert, das bisher bestandene Gleichgewicht zwischen Klappe T samt Ketten einerseits und dem der Größe nach unveränderlichen Gegengewicht C_4 andererseits nicht mehr bestehen bleibt, sondern das Gegengewicht vorherrschend wird, die Klappe zur Ruhe bringt und nun festhält (Textfig. 45 b, Stellung T_4C_4). Die 9,75 m breite Brücke gewährt geöffnet 51,20 m Lichtweite für die Schifffahrt. Die Bewegung der Klappen erfolgt durch Wasserdruck und zwar sind für jede Klappe 4 Druckwasserzylinder von 300 mm Durchmesser vorgesehen, deren Kolbenstangen mit einem Exzenter gekuppelt sind. Das obere Ende des letzteren ist mit der Klappe durch eine Gelenkstange verbunden; das untere Ende ist unverschieblich, aber um eine wagerechte Achse drehbar im Boden des Maschinenhauses aufgelagert (Textfig. 45 a). Eine Drehung des Exzenters um rund 45° bringt die Klappe in die in Textfig. 45 a punktiert eingezeichnete Endstellung. In dem Maschinenraum unter dem

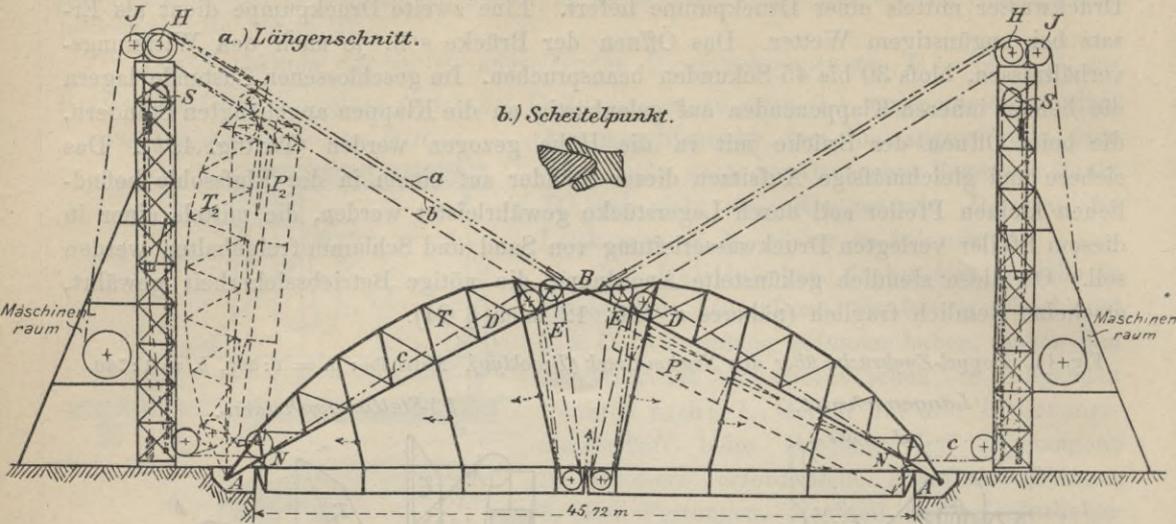
Stahlurm befindet sich eine Dampfkessel- und Maschinenanlage, die das erforderliche Druckwasser mittels einer Druckpumpe liefert. Eine zweite Druckpumpe dient als Ersatz bei ungünstigem Wetter. Das Öffnen der Brücke soll, je nach den Witterungsverhältnissen, bloß 30 bis 45 Sekunden beanspruchen. Im geschlossenen Zustande lagern die beiden inneren Klappenenden auf gelenkartig an die Klappen angehängten Ständern, die beim Öffnen der Brücke mit in die Höhe gezogen werden (Textfig. 45 b). Das sichere und gleichmäßige Aufsitzen dieser Ständer auf einem in der Flusssohle befindlichen kleinen Pfeiler soll durch Lagerstücke gewährleistet werden, die mittels einer in diesem Pfeiler verlegten Druckwasserleitung von Sand und Schlamm freigehalten werden soll. Ob diese ziemlich gekünstelte Anordnung die nötige Betriebssicherheit gewährt, erscheint ziemlich fraglich (näheres s. Litt. 12 nach § 24).

Fig. 45. Doppel-Zugbrücke über den Newton-Creek (Brooklyn). Maßstäbe: a. = 1:360, b. = 1:700.



b) Dreigelenkträger-Zugbrücke von H. Breithaupt. Eine andere Lösung der gleichen Aufgabe zeigt Textfig. 46 auf S. 46. Betriebsfertig bildet die Brücke einen Dreigelenkbogen ABA , dessen Scheitelgelenkanordnung Textfig. 46 b zeigt, mit angehängter Fahrbahntafel. Soll die Brücke geöffnet werden, so wird zunächst bloß die Fahrbahn durch ein besonderes Hubkabel c angehoben, wobei sich die gegliederten Hängestäbe in der in der Figur punktiert dargestellten Weise zusammenfallen. Vielfach genügt dieses Hochziehen der Fahrbahntafel für den Schiffsverkehrsverkehr; soll jedoch die Öffnung vollständig freigegeben werden, so zieht man mittels des Zugkabels b die Bogenhälften samt angehobener Fahrbahntafel hoch. Der Antrieb erfolgt mittels je eines im Maschinenraum (Textfig. 46) eines jeden Turmes aufgestellten Elektromotors, dem der Strom durch ein Unterwasserkabel zugeleitet wird. Um beide Arme gleichzeitig und mit gleicher Geschwindigkeit zu heben, wirkt der mit dem Zugseil ver-

Fig. 46. Dreigelenkträger-Zugbrücke von H. Breithaupt. M. 1:530.



bundene Motor zur Regelung dieser Bewegung auf ein Schneckenrad, wobei die Motoren beider Türme eine unter der Flußsohle hindurch geführte Leitung verbindet. Es sind zwei Gegengewichte vorhanden; eines hiervon ist unveränderlich und hat nur zum Ausgleich des Fahrbahntafelgewichtes zu dienen; das zweite veränderliche besteht aus einer mit ihrem unteren Ende am Führungsturm fest aufgehängten Kette, deren Einzelteile so bemessen sind, daß immer Gleichgewicht der Bewegung vorhanden ist. Fällt nämlich das Gegengewicht, so nimmt es stetig ab und wird so ohne Stofs abgelagert. Beim Niedergehen der Brücke mildern in den oberen Plattformen der Türme angebrachte Wasserdruckpuffer die Stoswirkung der Gegengewichte, wie auch in gleichartiger Weise ein Anschlagen der Fahrbahntafel an die Bogenhälften beim Anhub verhütet wird. Die Bewegungswiderstände setzen sich bei gewöhnlichen Verhältnissen im wesentlichen nur aus den Reibungswiderständen zusammen. Für das Heben der Fahrbahn allein sind 20 Sekunden, für das vollständige Öffnen der Brücke 40 Sekunden Zeitdauer angegeben (näheres s. Litt. 12 nach § 24).

§ 24. Zugbrücken, die Ergänzungen einer Doppeldrehbrücke bildend (Litt. 7 nach § 24). Textfig. 120 (§ 42) zeigt den Ausnahmefall, daß an einer viergleisigen, zweistöckigen beweglichen Brücke, die der Hauptsache nach als Doppeldrehbrücke ausgebildet ist, die nur nachts zu öffnenden beiden unteren Gleise der Dockbahn als Zugbrücken ausgebildet sind, wodurch der Verkehr auf den beiden oberen Hochbahngleisen möglichst geringe Störungen erleidet. Das Aufziehen und Niederlassen der Klappen erfolgt mittels Wasserdruck durch Ketten, welche unterhalb der Fahrbahntafel der Hochbahn zu den in den Schwanzstücken des kurzen Gegengewichtes der Drehbrücke lotrecht aufgestellten Druckwasserpressen führen.

Litteratur

(zugleich nach der Zeitfolge geordneter Quellennachweis,⁶⁾

Zugbrücken betreffend.

1. Weishaupt. Portalklappen-Vorrichtung an der großen Oderbrücke bei Schwedt. Zeitschr. f. Bauw. 1857, S. 206; Bl. G. u. H.

⁶⁾ Siehe Anm. 3, S. 18.

2. Manger. Brücken-Anzüge (Klappbrücken). Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1870, S. 263.
3. Nöggerath. Über Kompensation des veränderlichen Momentes der Brückenklappen. Civiling. 1861, S. 66, mit Abb.
4. Sympher. Bewegliche Brücken in Holland. Zeitschr. f. Bauw. 1885, S. 542, mit Abb., Bl. 68 u. 69.
5. Heinzerling. Brücken der Gegenwart. Bewegliche Brücken 1883, mit Abb. und Tafeln.
6. Henket u. Mees. Ausführliche Abhandlung über Zugbrücken: Waterbouwkunde door Henket, Schols u. Telders 1888, 3. Teil, XIV. Abschn., mit Taf. 21—27.
- *7. The Liverpool overhead railway. Engng. 1891, II. S. 741, mit Taf. — Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 249, mit Abb.
- *8. Charles Steiner. Proposed method for operating a vertical lift bridge. Engng. news 1892, I. S. 652.
- *9. Eisenbahnzugbrücke über den Harlemlufs. Railroad Gaz. 1892, S. 424, mit Abb. u. S. 667. — Génie civ. 1892/93, Bd. 22, S. 360, mit Abb.
10. Schultz u. Fülcher. Der Bau des Kaiser Wilhelm-Kanals 1899. Portalbrücke am Oberhaupt der Schleuse bei Rendsburg. Bd. I, S. 126, mit Abb. u. Taf. 25, 27 u. 30.
11. Wernicke. Lehrbuch der Mechanik 1901, II. Abt. S. 506.
12. Entwürfe für eine Brücke über den Newton Creek in Brooklyn. Engng. record 1896, II. S. 179 u. 402, mit Abb. — Engng. news 1896, II. S. 292, mit Abb. — M. Foerster, Zeitschr. f. Arch. u. Ing.-Wesen 1897, S. 535, mit Abb. — Vergl. Litt. 32 nach § 34.
13. Die Straßenbrücken der Stadt Berlin. I. Bd. 1902. Weidendammerbrücke S. 5, mit Abb. u. S. 212; Pommeranzenbrücke S. 13, mit Abb.; Jungfernbrücke S. 20, mit Abb.

D. Klapp-, Schaukel- und Faltbrücken.

§ 25. Konstruktionsgrundgedanke. Klappbrücken mit fester und mit beweglicher Drehachse. Schaukelbrücken. Die Klappbrücken drehen sich, wie die Zugbrücken, um eine wagerechte Achse. Während jedoch letztere bei den Zugbrücken an den Enden der Träger liegt, befindet sich die Drehachse bei den Klappbrücken in der Nähe des Schwerpunktes des beweglichen Brückenteiles. Das Verhältnis der Vor- und Hinterarme der Klappe findet man von 1:6 bis 1:1. Die kürzere Hinterklappe erhält ein Gegengewicht, wobei man vielfach den Brückenschwerpunkt etwas vor der Drehachse anordnet, damit die Klappe von selbst das Bestreben habe, sich zu schliessen. Bei neueren deutschen Klappbrücken liefs man meistens Drehachse und Brückenschwerpunkt zusammenfallen.

Während ferner die Zugbrücken mit Seilen oder Ketten, welche an der Vorderklappe angreifen, aufgezogen werden, bewirkt man das Öffnen der Klappbrücken durch Herunterziehen der Hinterklappe, wobei man ebenfalls Seile, Ketten oder ebenso häufig Zahnräder, Kurbeln und vollständige Getriebe benutzt. Ausser Handantrieb dient Dampf, Wasser, Gas oder Elektrizität als Kraftquelle. Je nachdem die Durchfahrtsöffnung mittels einer oder zweier Klappen überbrückt wird, unterscheidet man einfache (Textfig. 61 u. 84) oder doppelte Klappbrücken (Textfig. 66, 67, 68 u. 69).

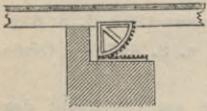
Man kann die Klappbrücken in solche mit fester und mit beweglicher Drehachse einteilen. Erstere sind die weitaus häufiger vorkommenden und daher in Folgendem zuerst beschrieben. Von den Klappbrücken mit beweglicher Drehachse gibt es dreierlei Konstruktionsarten:

1. Solche, bei denen die ganze feste Klappe sich um eine längs einer Geraden parallel verschiebende Achse dreht,
2. solche, bei denen die Drehung um eine längs einer Kurve verschiebbliche Achse erfolgt,
3. solche, bei denen die Klappe sich um eine in einer Kurve sich bewegenden Achse in zwei Teile zusammenfaltet.

Hiervon mögen die Arten 1 und 2 zum Unterschied von den Klappen mit festbleibender Drehachse als Schaukel- oder Rollklappbrücken, und die Art 3 nach der Bezeichnungsweise ihrer Erfinder (der amerikanischen Ingenieure) als Faltbrücken bezeichnet werden (vergl. § 33).

Bei der ersten Art ist die Drehachse durch gezahnte Sektoren (Textfig. 47) auf jeder Seite der Klappe ersetzt, deren Mittelpunkt in die Schwerachse des Gesamtsystems fällt und deren Umfang bei der Bewegung der Brücke sich auf den an den Seitenmauern angebrachten Zahnstangen abrollt, sodass der Schwerpunkt des Systems sich in einer Wagerechten bewegt (Klappbrücke zu Havre, vor 1824 von Lombardie gebaut, 13,2 m weit, 5 m breit). Bei dieser Konstruktion beschreibt der Endpunkt der Hinterklappe eine verlängerte Zykloide und der erforderliche Keller wird kürzer als bei fester Drehachse. Andererseits ermöglicht aber letztere Anordnung eine sicherere Bewegung der Klappe.

Fig. 47.

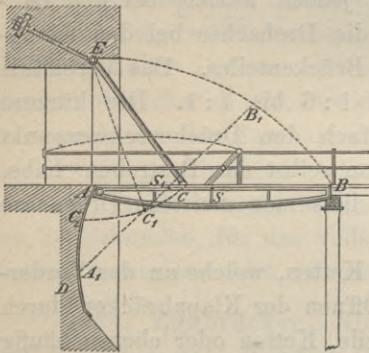


Als neuere Beispiele der zweiten Konstruktionsart, und zwar einer Schaukelbrücke, können Textfig. 75 bezw. 80 und einer Rollklappbrücke Textfig. 73 bezw. 77 dienen, bei denen die Führung des Klappenschwerpunktes in ganz anderer, sehr sinnreicher Weise erfolgt (vergl. § 32, f. bezw. § 32, g).

Als ältestes Beispiel für die zweite Konstruktionsart ist die von Ardagh vorgeschlagene anzuführen (Textfig. 48).

Fig. 48.

Klappbrücke nach Ardagh.



Die Klappe AB , deren Schwerpunkt sich in S befindet, ist mittels der Stangen CE in den Punkten E aufgehängt. Das hintere Ende A der Klappe trägt mit Spurkränzen versehene Führungsrollen, welche bei der Bewegung der Brücke sich längs der Führungsschienen AD bewegen. Die Gestalt der letzteren ist so gewählt, daß bei der Bewegung der Klappe der Schwerpunkt S derselben sich stets in der Wagerechten AB verschiebt und demnach keine mechanische Arbeit aufser der, welche zur Überwindung der Reibungen dient, erforderlich ist. Die Konstruktion der Leitkurve AD ist leicht auszuführen, wenn man bedenkt, daß der Aufhängepunkt C einen Kreisbogen CC_1C_2 um E beschreibt und für jede Stellung z. B. A_1B_1 der Klappe $C_1S_1 = CS$ und $C_1A_1 = CA$ sein muß. Wählt man $CS : CA : (AE = SB) : EC$ wie $1 : 3 : 4 : 5$ und liegt der Schwerpunkt S in der Mitte von AB , so kommt bei aufgeklappter Brücke der Endpunkt B nach E .

§ 26. Freier Raum unter der Hinterklappe. Anordnung und Unterstützung der Hauptträger. Da beim Öffnen der Brücke die Hinterklappe sich senkt, so muß für diese der nötige freie Raum vorgesehen werden. Bei gemauerten Landwiderlagern werden zu diesem Zwecke besondere Keller angelegt (Textfig. 63 a), welche, falls das Hochwasser höher als deren Sohle steigen kann, wasserdicht ausgeführt werden müssen (Textfig. 49). Hierzu kann auch eine innere Eisenverkleidung dienen. In eigenartiger Weise wird diese Aufgabe bei neueren amerikanischen Klappbrücken gelöst (vergl. Textfig. 75, 80 bis 82 u. 83).

Schließt dagegen die Klappbrücke nicht an das Ufer an, sondern bildet dieselbe den mittleren Teil einer längeren Brücke, so richtet sich die Beschaffung des freien Raumes für die sich senkende Hinterklappe nach den örtlichen Verhältnissen, nach der Konstruktion der Brückenpfeiler und nach der Ausführungsweise der anschließenden festen Brücke.

Liegt die Brücke genügend hoch über Hochwasser, so kann man die Hinterklappe ein Stück in die benachbarte Öffnung der festen Brücke hineinragen lassen (Textfig. 51 a). Bei größerem Aufschlagwinkel wird es oft erforderlich, jeden Pfeiler in zwei getrennt stehende Teile zu teilen, zwischen denen die sich nach unten bewegende Hinterklappe mit dem Gegengewichte Platz hat (Textfig. 82). Nicht immer ist es jedoch möglich, zu umgehen, daß die Hinterklappe bei geöffneter Brücke ins Wasser taucht (Textfig. 53 u. 54). Bei der Knippelsbro am Christianshafen zu Kopenhagen (Litt. 5 u. 16 nach § 34), deren Drehachse auf einem aus zwei gemauerten Zylindern bestehenden Pfeiler liegt, senkt sich die Hinterklappe beim Öffnen der Brücke in einen ins Hochwasser tauchenden, wasserdichten gußeisernen Kasten herab.

Eine Konstruktion mit verhältnismäßig hoch liegender Drehachse und infolge dessen mit weniger tief nach unten schlagendem Brücken-Hinterteil zeigen die von Price ausgeführte, einflügelige, 9,15 m im Lichten weit gespannte, 5 m breite Eisenbahn-Klappbrücke über die Drumsna bei Shannon, sowie die in den Textfig. 75 u. 78 bis 82 dargestellten neueren amerikanischen Entwürfe und Ausführungen.

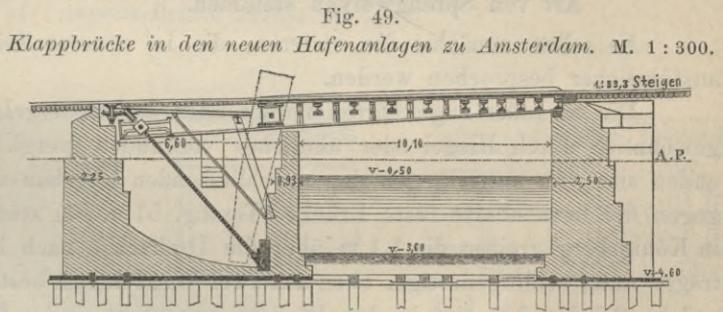
Eine beachtenswerte Lösung zeigt die vom Reg.-Baumeister Naumann unter der Oberleitung des Baurates Frühling ausgeführte Honig-Brücke zu Königsberg (Textfig. 62). Hier ist die Länge der Hinterklappe auf das geringste Maß zurückgeführt; desgl. bei der Tiberbrücke nächst Rom (Textfig. 84) und dem Entwurf Textfig. 72.

Die Hauptträger sind in den meisten Fällen sämtlich mit Vor- und Hinterflügel konstruiert, durch eine entsprechende Anzahl von Querträgern zu einem möglichst steifen Ganzen verbunden und an dem Hinterende mit Gegengewichten versehen. Bei manchen Brücken sind jedoch die Fußwegträger ohne Hinterteil gelassen, um an Kellerbreite für die Hinterklappe zu sparen.

Ähnlich ist es auch bei der 18 m weit gespannten, 9,4 m breiten Knippelsbro (Litt. 5 nach § 34), wo nur die vier mittleren Längsträger über die Achse hinaus in den zwischen den Pfeilerhälften befindlichen gußeisernen Kasten verlängert sind. Die beiden äußersten, am stärksten ausgeführten Hauptträger, welche, durch Vermittelung der Stirnquerträger, auch einen Teil der auf die übrigen Längsträger kommenden Last übernehmen, sind kurz hinter der Drehachse abgeschnitten.

Abweichend von den Klappbrücken, welche eine größere Anzahl 0,8 bis 3,0 m

(Schmiedebrücke in Königsberg, Textfig. 71) voneinander abstehende Hauptträger besitzen, findet man auch Klappbrücken mit nur zwei Hauptträgern und einer Reihe von Querträgern zwischen denselben. Beispiele hierfür sind die mit 4,8 m breiter Fahrbahn und zwei je 1,25 m breiten Fußwegen versehene Klappbrücke in den neuen Hafenanlagen zu Amsterdam



(Textfig. 49), deren zwei Hauptträger 7,3 m voneinander entfernt liegen, sowie die Honigbrücke in Königsberg (Textfig. 62), die Klappbrücke bei Rendsburg (Textfig. 68) und die meisten neueren amerikanischen Klappbrücken (Textfig. 73, 75, 77 bis 83).

Eine besondere Anordnung hat die Eisenbahn- und Strafsenbrücke über den Frederiksholmskanal zu Kopenhagen erhalten (Litt. 13 nach § 34). Die beiden, 7,2 m voneinander abstehenden Hauptblechträger sind verschieden stark ausgeführt (Gurtquerschnitte: eisenbahnseitig 185 qcm, fußwegseitig 72 qcm). Zwischen den Hauptträgern befinden sich fünf Querträger. Da jedoch die Gesamtbreite der Brücke 9,9 m beträgt, so kommt sowohl das Eisenbahngleis als auch der Fußweg zum Teil auf Konsolen zu liegen. Man suchte auf diese Weise bei beschränkter Konstruktionshöhe eine möglichst große Höhe für die Querträger beibehalten zu können.

Eigenartig ist die Anordnung der von Mees entworfenen (Litt. 16 nach § 34), für Strafsen- und Eisenbahnverkehr (16 t schwere Lokomotiven) dienenden Klappbrücke über den Binnenhafen zu Fyen-

oord (Rotterdam), 23 m im Lichten weit, 10,5 m breit. Es sind hier vier Bogenträger mit Kämpfergelenken und Unterbrechung im Scheitel zum Tragen der auf die Brücke kommenden Last, und außerdem vier als Blechbalken konstruierte und an der Drehachse befestigte Wippträger angewandt, an denen die Gewichte sich befinden und die zum Tragen der Brücke im geöffneten Zustande dienen. Durch Vermittelung der zwischen sämtlichen Trägern durchgehenden Querverbindungen werden beim Öffnen der Brücke die Bogenfachwerke aus ihren Kämpfergelenken ausgehoben und mit in die Höhe gekippt. Da jedoch diese Träger nicht mit den Kämpfer-Loten abschließen, sondern 1 m über die Drehachse hinaus verlängert sind, so konnten dieselben mit letzterer verbunden werden, so daß beim Aufklappen der Brücke die Last der Bogenfachwerke nicht nur an den Querverbindungen hängt, sondern auch von der Drehachse getragen wird. Um der elastischen Formänderung der Bogenfachwerke bei Belastung der Brücke Rechnung zu tragen, mußte die Verbindung zwischen der Drehachse und den Trägern den letzteren etwas Luft gewähren. Durch die bei der Fyenoord-Brücke gewählte Anordnung erreicht man die Möglichkeit, für die eigentlichen Lastträger die ganze zur Verfügung stehende Konstruktionshöhe auszunutzen, ohne zu tiefe Keller für die Hinterklappe anlegen zu müssen. Andererseits erfordert freilich der Bogen Schub ein entsprechend starkes Widerlager und muß auf eine genauere statische Berechnung der Hauptträger verzichtet werden.

Was die Unterstützung der Hauptträger bei geschlossener Brücke anlangt, so ruht bei einfachen Klappbrücken das vordere Ende der Hauptträger auf festen Lagerplatten (Textfig. 63). Als zweiter Unterstützungspunkt dient nur ausnahmsweise die Drehachse. Gewöhnlich befinden sich unweit der letzteren, nach der Seite der Vorderklappe zu, besondere Lagerplatten *n*, deren Höhe so bemessen sein muß, daß auf ein vollständiges Andrücken des geschlossenen Trägers an die Platte gerechnet werden kann. Damit das vordere Ende bei geschlossener Brücke fest im Lager liege, sind bei einigen Brücken an den Hinterenden besondere Anhubvorrichtungen angebracht (Textfig. 63).

Von den doppelten Klappbrücken können zwei Arten unterschieden werden:

1. Solche, deren Klappen voneinander unabhängig sind,
2. solche, deren Klappen in geschlossenem Zustande sich gegeneinander nach Art von Sprengwerken stemmen.

Es sollen zunächst die ersteren, die in neuerer Zeit allein ausgeführt werden, ausführlicher besprochen werden.

Die einander zugekehrten Vorderenden der niedergelassenen Brückenklappen sind gewöhnlich durch Riegel oder ähnliches verbunden (vergl. § 31), während die Hinterenden sich von unten gegen den anschließenden Überbau des Kellers (Textfig. 67) oder gegen die benachbarte feste Brücke (Textfig. 51 u. 54) stützen. Bei der Honig-Brücke in Königsberg greifen die 1,1 m über die Drehachse nach hinten verlängerten 7 Hauptträger unter schlingenartige, oben aus zwei Winkeleisen bestehende Anker *o* (Textfig. 62), welche 2,5 bis 3 m tief in den Pfeilern verankert sind. Eine neuere Stützung, bezw. Rückankerung des kurzen Klappenarmes, sowie deren Wirkungsweise siehe Textfig. 70, § 32, d.; desgl. Textfig. 68, § 32, c.

Auch bei diesen doppelten Klappbrücken dienten früher die Drehachsen nur selten zur Stützung der niedergelassenen Träger. (Dies ist z. B. bei der Stokkenbrug (Litt. 15 nach § 34) der Fall. Es muß dann die Achse entsprechend stark bemessen und in einer größeren Anzahl von Punkten gelagert werden.) Gewöhnlich befanden sich in geringer Entfernung von der Achse feste Stützlager (bei *n* in Textfig. 53, sowie in der Textfig. 51). Die Zapfenlager für die Drehachsen, sowie die soeben erwähnten Stützlager sind zweckmäßigerweise in der Höhenlage etwas verstellbar einzurichten (Textfig. 54), um mit Rücksicht auf die Durchbiegung der Achse genau eingestellt werden zu können.

Bei den neueren Brücken bilden auch im geschlossenen Zustand die Drehachsen die hauptsächlichsten Stützen (Textfig. 67, § 32, b.) oder sie haben nur das volle Eigengewicht zu tragen; rückt nämlich die Verkehrslast herein, so treten die oben erwähnten nachstellbaren Stützlager in Wirksamkeit, zu welchem Zweck die Drehachsen sich um ein Geringes lüften können (vergl. Textfig. 67 a, rechte Hälfte und § 32, d.). Für den Verkehrszustand sind die Drehachsen der Towerbrücke (Textfig. 66) entlastet und deren Hauptträger ruhen auf festen, zwischen Drehachse und innerem Widerlagerrand befindlichen Lagern, wobei das Ende des kurzen Klappenarmes unter verankerte Lagerplatten greift. Die Stützlager sind stets gegen Verschmutzung zu sichern.

Die Textfig. 50 a u. b zeigen die Entlastungsvorrichtung der Drehachsen bei der Frederiksholmskanal-Brücke zu Kopenhagen, deren Hauptträger (Litt. 13 nach § 34) mit Hilfe des dort befindlichen Querträgers sich gegen die auf dem Pfeiler angebrachten Lagerplatten stützen. Von der lotrechten Kurbelwelle aus wird in der aus den Figuren ersichtlichen Weise die Bewegung auf einen zweiarmigen Hebel übertragen, dessen kurzer Arm mit einer entsprechenden Ab- rundung sich gegen ein an dem Haupt- träger befestigtes Stahlstück andrückt und so die Brücke anhebt. Zur Arbeitersparnis beim Anheben dient ein bei entlasteter Drehachse ungefähr wagerecht stehender Hebel mit Gegengewicht. An jedem Pfeiler befinden sich, links und rechts der Brücke, zwei solche Anhubvorrichtungen und es sind dieselben durch gemeinschaftliche durchgehende Querwellen verbunden. Die beschriebene Konstruktion hat auch den Zweck, eine Drehung der Klappe um ihre Achse zu verhindern, wenn eine sehr schwere Last auf den hinteren Fahrbahnrand der Klappe zu stehen kommt.

Fig. 50. Entlastungsvorrichtung der Drehachse an der Frederiksholmskanal-Brücke, Kopenhagen. M. 1:96.

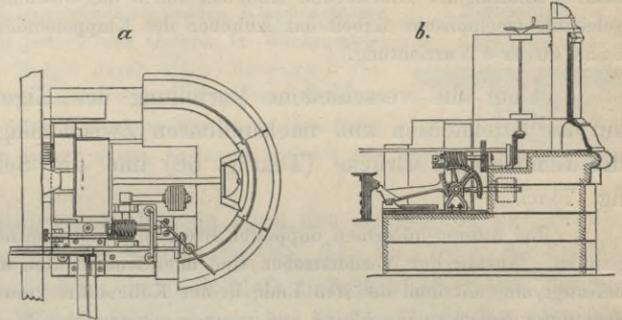
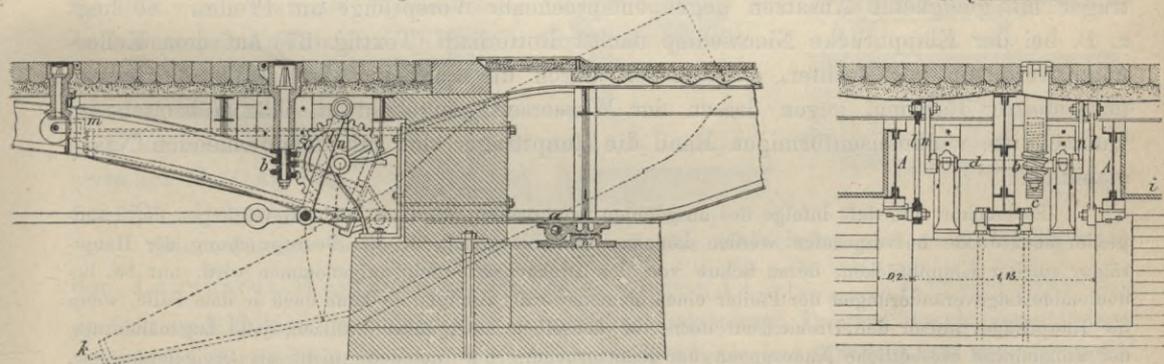


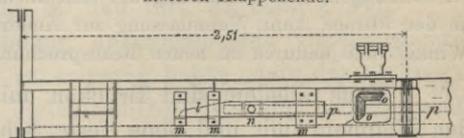
Fig. 51. Augusta-Brücke, Berlin. M. 1:48.

a. Längsschnitt.

b. Querschnitt.



c. Anhub- und Verriegelungsvorrichtung am hinteren Klappenende.



Um die Brückenflügel fest gegen die vor den Drehachsen angeordneten Stützlager anzu- drücken, findet man auch bei doppelklappigen Brücken Vorrichtungen zum Anheben der hin- teren Klappenenden.

Zu diesem Zwecke sind z. B. bei der Augusta-Brücke in Berlin (Textfig. 51 u. Litt. 42 nach § 34) an den zwischen je zwei Hauptträgern *A* befindlichen Gegengewichtskasten *i* zwei starke Nasen *k* (Fig. 51 a) vorhanden, unter welche sich die mittels der Lager *m* an dem Querträger geführten Keile *l*

(Fig. 51 *c*) schieben, während die obere Fläche der Nasen gegen eine an dem festen Querträger angelegte Auflage gedrückt wird. Die Bewegung des Keiles geschieht durch das konische Räderpaar *o* und *r* (Fig. 51 *c*), von denen das erstere auf der Schraubenspindel *p* aufgekeilt ist. Bei der Drehung bewegt sich die Mutter *n* und mit ihr der Keil *l* vor- und rückwärts.

Textfig. 53 zeigt den an der Langebro-Brücke (Litt. 16 nach § 34) zum Anheben des Hinterendes *d* der Klappe benutzten Mechanismus. Das Hauptträgerende *d* ist mit in Lagern drehbaren kleinen Rollen *r* versehen. An den schmiedeisernen, um *p* drehbaren Armen *s* sind Vorsprünge angebracht, die unter die Rollen *r* greifen und diese anheben können. Um die Arme *s* zu diesem Zwecke gegen die Rollen *r* anzudrücken, dienen auf der Achse *f* sitzende Exzentrerscheiben *e*. Die Umdrehung der Achse *f* erfolgt mit Hilfe der durch den Stockschlüssel *l* zu bewegenden Schraube ohne Ende *g*, welche in ein auf der Welle *f* sitzendes Zahnrad *i* eingreift. Gleichzeitig mit *f* dreht sich durch Vermittelung der Scheiben *k* und *n* und einer Kette ohne Ende das Gewicht *m* um die Achse *n*, und zwar derart, daß beim Niederlassen des hinteren Klappenendes das Gewicht *m* sich in die Höhe hebt, dagegen beim Schließen der Brücke und Anheben von *d* das Gewicht von *m* nach *m*₁ gelangt und durch die so geleistete mechanische Arbeit das Anheben des Klappenendes erleichtert. (Vergl. Drehbrücken I, § 41, Schwedler's Vorrichtung.)

Über die verschiedene Verteilung des Eigengewichtes, bezw. der Verkehrslast auf die Drehachsen und nachstellbaren Zwischenlager bei neueren Ausführungen siehe die Rendsburger Brücke (Textfig. 68) und die Schmiedebrücke in Königsberg (Textfig. 71 *a*).

Bei älteren hölzernen doppelten Brücken findet man häufig die Klappen durch bewegliche Streben gestützt. Anstatt der Vorderstreben sind auch Ankerketten angewandt worden, die an der Hinterklappe befestigt und mit dem anderen Ende in der Kellersohle verankert wurden. Bei eisernen Brücken findet man diese Nebenstützen häufig und zwar in eigenartiger Weise bei den neueren amerikanischen Klappbrücken. Beispiele hierzu: Textfig. 73 u. 77.

Wie bereits erwähnt, sind, besonders in Holland, eine größere Anzahl von Klappbrücken ausgeführt worden, deren nach der Mitte der Brücke ansteigende Klappen in geschlossenem Zustande sich sprengwerkartig gegeneinander stützen. Hierbei wird der Horizontalschub des Sprengwerks entweder nur von der Drehachse aufgenommen, welche dann die hierzu erforderliche Stärke erhalten muß, oder es drücken die geneigten Hauptträger mit geeigneten Ansätzen gegen entsprechende Vorsprünge am Pfeiler. So liegt z. B. bei der Klappbrücke Nieuwediep nächst Rotterdam (Textfig. 67) auf dem Kellermauerwerk ein wagerechter, gußeiserner, durch die angeschraubten Kellerdeckbalken ausgesteifter Rahmen, gegen dessen der Wasserseite zugekehrten, 0,32 m breiten, im Querschnitte winkeleisenförmigen Rand die Hauptträger sich mit entsprechenden Nasen stemmen.

Es leuchtet ein, daß infolge des ausgeübten wagerechten Schubes leicht Bewegungen der Landpfeiler oder Joche hervorgerufen werden können. Hat dies auch auf die Beanspruchung der Hauptträger solcher Klappbrücken, deren Schub von den Drehachsen allein aufgenommen wird, nur bei bedeutenden Lageveränderungen der Pfeiler einen nennenswerten Einfluß, so kann doch in dem Falle, wenn die Hauptträger außer den Drehachsen noch vor denselben Stützpunkte besitzen, jede Lagenänderung der Stützpunkte wesentliche Änderungen der Beanspruchung der (nunmehr nicht als Dreigelenkträger, sondern als statisch unbestimmte Träger arbeitenden) Hauptträger nach sich ziehen. Auch Wärmeschwankungen, eine Abnutzung der sich aneinander stemmenden Klappenstirnen, ein Ansetzen von Eis an den Stirnen kann Veranlassung zur Änderung des von den beiden Klappen miteinander gebildeten Winkels und dadurch zu neuen Beanspruchungen werden.

Nach alledem sind Brücken mit sprengwerkartig sich gegeneinander stemmenden Klappen, mit und ohne feste Schublager vor den Drehachsen nicht zu empfehlen und tatsächlich auch in neuerer Zeit für größere Brücken nirgends mehr zur Ausführung gekommen.

§ 27. Baustoffe. Konstruktionsformen. Eigengewicht der Hauptträger.

Ältere Klappbrücken sind meist nur aus Holz ausgeführt worden, mit einfachen, durch Sattelhölzer oder durch Armierungen verstärkten Balken. Einfache Klappbrücken derart bis 7 m, doppelte mit 14 m Lichtweite. Später benutzte man besonders in England gusseiserne Träger. Gegenwärtig macht man die Hauptträger bei kleinen Spannweiten aus Holz, bei größeren dagegen aus gewalzten I-Trägern oder aus genieteten Blechbalken mit gleichbleibender oder, um an Durchfahrthöhe zu gewinnen, mit sich verjüngender Höhe (Textfig. 49, 53 u. 62). Oft sind auch die Vorderflügel mit bogenförmigem Untergerüste konstruiert (Textfig. 51, 66 u. 71.)

Bei der Eyoenord-Brücke (Litt. 16 nach § 34) sind die äußeren, die Verkehrslast stützenden Träger als Bogenfachwerke mit drei Gelenken ausgebildet. Die Textfig. 52 stellt das Scheitelgelenk dar. Der Halbzapfen wird durch Spiralfedern so weit zurückgezogen, daß die sich gegenüber stehenden Klappenstirnen frei aneinander vorbei gleiten können. Soll jedoch das Gelenk in Wirksamkeit treten, so wird der Halbzapfen vor jedem Träger durch einen Messingkeil verschoben, wobei ersterer sich gegen die Pfanne an der Stirn der anderen Brückenklaappe andrückt. Auf diese Weise bringt man das ganze System in Spannung. Da sämtliche Keile auf einer durchgehenden Stange sitzen, so lassen sie sich von einer Stelle aus gleichzeitig bewegen.

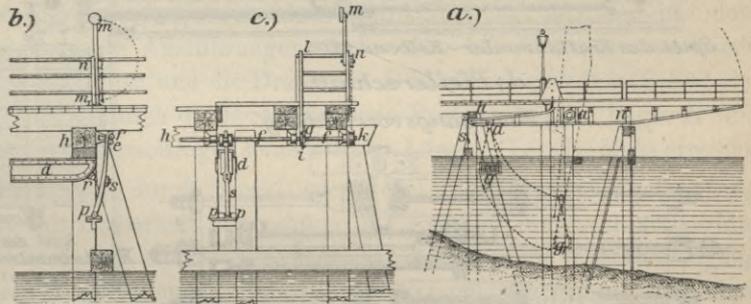


Die Hinterflügel der Klappent Träger erhalten je nach der Anordnung der Brücke verschiedene Gestalt, vergl. Textfig. 53, 54, 62 bis 64, 68, 71, 75, 78 u. 80 bis 84. Als Baustoff wird, in Deutschland wenigstens, zur Zeit blofs mehr Flusseisen von gleicher Beschaffenheit wie im übrigen Eisen-Brückenbau verwendet. In den Vereinigten Staaten Nordamerikas finden vielfach härtere Flusseisensorten Anwendung. Vergl. hierüber Handbuch der Ing.-Wissenschaften, II. Bd., 2. Abt. 3. Aufl. 1901, S. 100.

Fig. 53 a bis c. Langebros-Brücke in Kopenhagen.

Mafsstäbe: a. = 1:380, b. u. c. = 1:120.

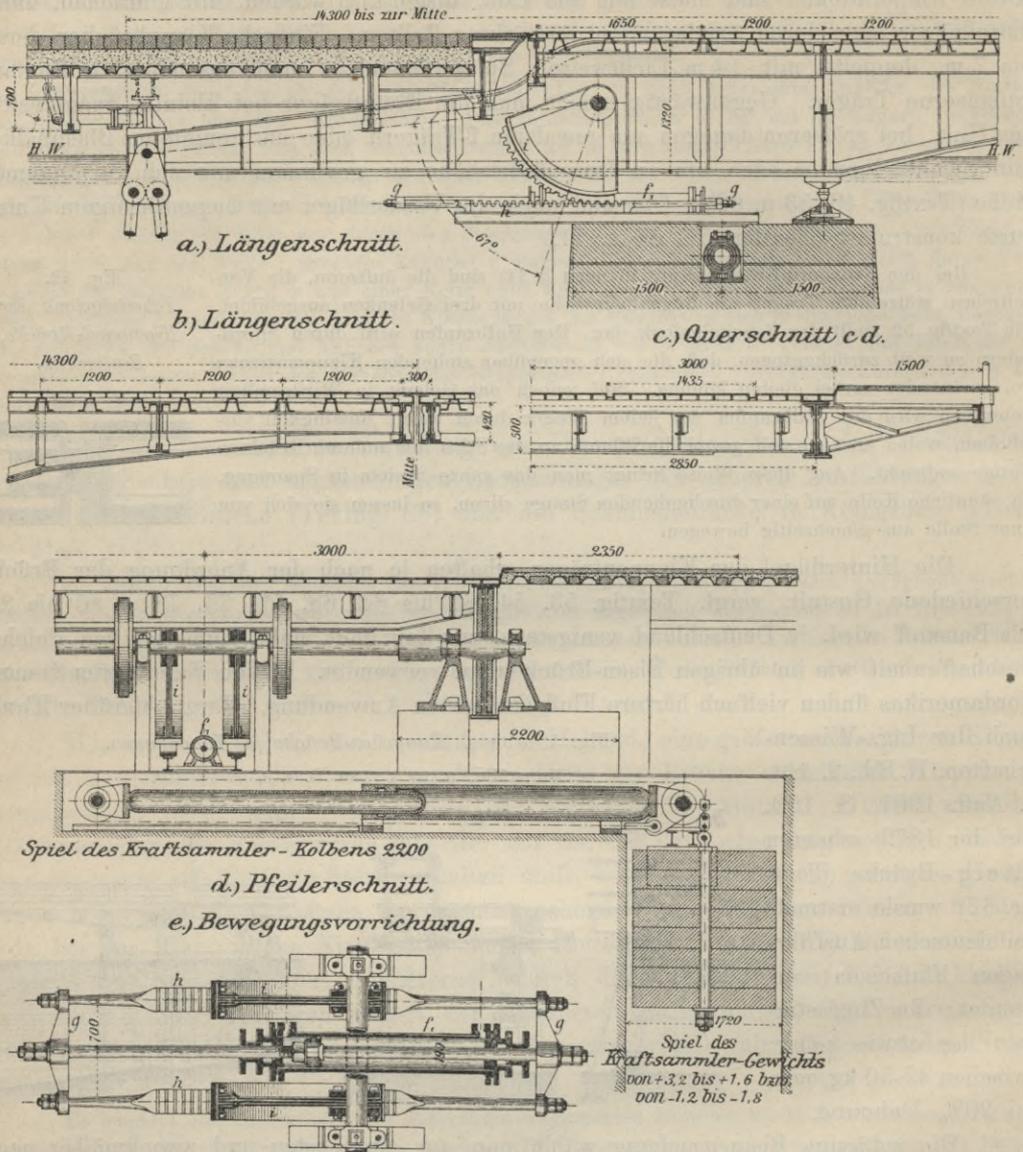
Bei der 1879 erbauten Honig-Brücke (Textfig. 62) wurde erstmals bei deutschen Ausführungen Flusseisen verwendet; die Zugfestigkeit lag etwas höher: zwischen 45-50 kg/qcm, bei 20% Dehnung.



Die zulässige Beanspruchung wählt man am einfachsten und zweckmäfsig nach der Launhardt-Weyrauch'schen Formel $\sigma = k \left(1 \pm \frac{1}{2} \frac{\min S}{\max S} \right)$, wobei zwischen grofsen und kleinen (mittelbar und unmittelbar belasteten) Trägern durch verschiedene Annahmen der rechnermäfsigen Beanspruchung k zwischen 900 und 700 kg/qcm unterschieden werden kann. Vergl. Handb. d. Ing.-Wissensch. II. Bd. 2. Abt. 3. Aufl. 1901, S. 110, § 22; ferner die Schmiedebrücke (Textfig. 69 und Litt. 32 nach § 34).

Bezüglich des bei der statischen Berechnung anzunehmenden Eigengewichtes wird man sich bei zweiflügeligen Brücken daran zu erinnern haben, daß das Biegemoment des Vorderflügels an der Drehachse, bei gleichförmiger Belastung, ebenso grofs ist wie das Maximalmoment für einen einfachen Balken, dessen Spannweite gleich der doppelten Länge des Konsolträgers ist. Angaben über Gewichte ausgeführter Brücken findet man am Schlusse dieses Abschnittes. Genauere Formeln hierfür lassen sich bei

Fig. 54 a bis e. Hohe Brücke in Königsberg. Maßstäbe: a. bis d. = 1:75, e. = 1:50.



den jetzt üblichen, oft weit auseinandergelassenen Methoden der Querschnittsbemessung und bei den mangelhaften Unterlagen kaum in allgemein befriedigender Weise ableiten.

§ 28. Berechnung der Hauptträger. Bei geöffneter Brücke bilden die Hauptträger auf der Achse D im Gleichgewichte befindliche Balken (Textfig. 55 a u. b). Wird die Konstruktionslast für das lfd. m des Armes FD mit g und für das m des Armes DE mit g_1 bezeichnet, ferner $c_1 = \gamma c$, $l_1 = \nu l$ und $b = \beta c_1$ gesetzt, so ist für Gleichgewicht ein Gegengewicht: $G = \frac{g - g_1 \gamma^2}{(1 - \beta) 2 \gamma} c$ erforderlich. Bei größeren und neueren Brücken begnügte man sich jedoch mit dieser Näherungsrechnung nicht, sondern ermittelte die Verteilung des Eigengewichtes der wirklichen Ausführung entsprechend mit aller Schärfe und berechnete hiernach das Gegengewicht, z. B. Bootshafenbrücke

in Kiel (Tabelle No. 16 nach § 34). Früher nahm man G etwas kleiner, um ein Selbsteinfallen der Brücke zu erzielen; bei neueren Ausführungen wurde jedoch G so bestimmt, daß der Gesamtschwerpunkt in die Drehachse der Klappe fällt (Textfig. 71). Die Querkräfte Q und die Biegemomente M sind dann stets leicht zu berechnen.

Bei geschlossener Brücke hat man zu unterscheiden, ob dieselbe ein- oder zweiflügelig ist. Ist die Brücke einflügelig (Textfig. 55 a), so wird die Konstruktionslast von den Stützen A und D oder, falls das feste Lager B etwas überhöht und der Zapfen D in Gabellagern liegt, von den Stützen A und B getragen, während die Verkehrslast auf die Hauptträger wie auf Balken über eine Öffnung $AB = l$ wirkt (der Teil BE ist durch die über den Klappenkeller sich erstreckenden festen Träger BH verdeckt). Die hierdurch erzeugten Q und M sind zu denjenigen, welche von der Konstruktionslast herrühren, hinzuzuzählen. Ferner ist auch die etwa in E durch Anhubvorrichtungen erzeugte Kraft (vergl. § 26) zu berücksichtigen.

Ist die Brücke zweiflügelig und stemmen sich die geschlossenen Klappen nicht gegeneinander (Fig. 55 b), so bilden die Teile AB' und AB'' Konsolträger von der Länge l , welche allein die Verkehrslast erhalten. Hierdurch entsteht in E ein Druck von unten nach oben, der von den Trägern (Textfig. 67) der festen Fahrbahn $B'H$ und $B''H$ ausgehalten werden muß und meist eine Verankerung der letzteren mit dem Mauerwerke bedingt. Bei neuesten Ausführungen findet man bei E negativ wirkende Auflager am kurzen Klappenarm selbst und die Drehachse D lüftbar angeordnet (Schmiedebrücke in Königsberg, § 32, d.), wodurch die hereinrückende Verkehrslast die Lager B' und B'' in Wirksamkeit setzt und der Konsolträger seine kleinste Länge l (Textfig. 55 b) erreicht.

Wenn auch auf einen in A durch Riegel oder dergl. bewirkten Zusammenhang beider Klappenflügel nicht mit Sicherheit zu rechnen ist, so kann hierdurch immerhin, wenn die eine Klappe belastet, die andere aber leer ist, eine gewisse Lastübertragung erzielt werden. Bei neueren Ausführungen wird auf diese Klappenverbindung besondere Sorgfalt verwendet (vergl. Textfig. 67, 68 und insbesondere 76).

Bei der schiefen zweiflügeligen Klappbrücke über den Börsenkanal zu Kopenhagen, deren Klappen in geschlossenem Zustande ungleiche freitragende Längen $B'A = 7,55 \text{ m}$ und $B''A = 4,10 \text{ m}$ (vergl. Textfig. 56) besitzen, ist sogar der kürzere Arm zur teilweisen Entlastung des langen Armes benutzt worden, wodurch man bei letzterem an Höhe sparen und hierdurch, bei gegebener Planelage der überzuführenden Eisenbahn, an lichter Durchfahrts Höhe unter der Brücke gewinnen konnte. Zur Übertragung des Druckes bei A dienen gußeiserne, an den Hauptträgern befestigte Platten, die sich mittels lotrechter Nasen um $0,31$ bzw. $0,07 \text{ m}$ übergreifen (Textfig. 56). Die Verschiedenheit dieser Längen ist durch den Umstand bedingt, daß die Brücke auch durch Wasserdruck bewegt wird und es hierbei kaum möglich sein dürfte, die Hebung der beiden Klappen von Anfang an mit genau gleicher Geschwindigkeit zu bewirken. Der Druck, welcher bei dieser Konstruktion von dem längeren Träger auf den kürzeren übertragen wird, ist aus der Bedingung zu bestimmen, daß die Durchbiegung beider Konsolträger in A gleich groß sein muß.

Fig. 55.

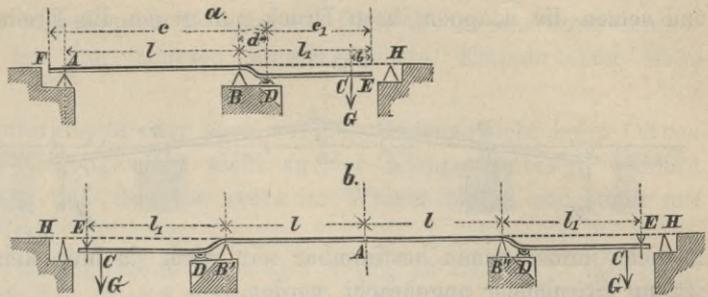
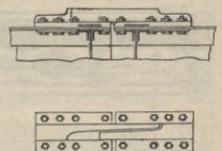
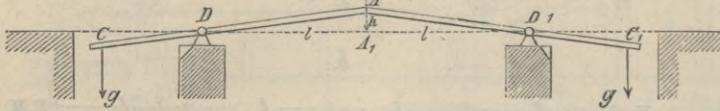


Fig. 56. Übergreifer am Klappenstosse der Börsenkanalbrücke zu Kopenhagen. M. 1:48.



Ist die zweiflügelige Brücke mit sich aneinanderstimmenden Klappen konstruiert und setzen die Klappen ihren Druck nur gegen die Drehachsen ab, so ist die Berechnung der Hauptträger wie die vom Dreigelenksträger DAD_1 (Textfig. 57) durchzuführen, wobei

Fig. 57.



A nicht immer genau bestimmbar sein wird, da hier kein wirkliches Gelenk, sondern oft nur Stirnhölzer angebracht werden.

Bei gleichförmig über beide Klappen verteilter Belastung p für die Längeneinheit entsteht in A ein wagerechter Druck $H = \frac{p}{2v}$, wenn $h = vl$ gesetzt wird. Bei gleichmäßiger Belastung nur der einen Klappe, z. B. DA , wirkt der Druck in A in Richtung der unbelasteten Klappe D_1A und ist gleich $\frac{pl}{4} \cdot \frac{\sqrt{1+v^2}}{v}$. Da diese Konstruktion höchstens noch bei ganz kleinen Ausführungen Anwendung finden dürfte, soll nur bemerkt werden, dass dann nicht mehr mit gleichmäßiger Belastung, sondern mit den wirklichen Wagenlasten bei Berücksichtigung der ungünstigsten Stellungen gerechnet werden muss. Auch dann können die Endergebnisse nur als rohe Näherungswerte bezeichnet werden.

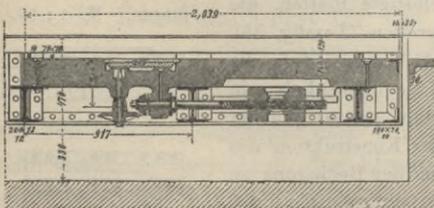
Viel verwickelter gestalten sich die statischen Verhältnisse bei Brücken, deren sich aneinanderstimmende Klappen außer durch die Drehachse auch noch unweit der letzteren durch feste, gegen Schub konstruierte Pfeilerlager gestützt werden. Ein solches Tragwerk ist statisch unbestimmt und kann nur bei Annahme der Ausführungsquerschnitte für die zu untersuchenden Klappenträger zutreffend berechnet werden.

Hat man es schliesslich mit einer Konstruktion wie die Fyenoord-Brücke zu tun, so ist die Berechnung der inneren Träger wie für auf der Drehachse im Gleichgewichte sitzenden Balken, dagegen die der äusseren Träger bezüglich der Verkehrslast wie für Bogenfachwerke mit drei Gelenken zu führen (vergl. Taf. V u. VI u. S. 38 bis 48 der Litt. 16 nach § 34). Anordnungen mit so unsicherem Kräftespiel sind zu vermeiden.

§ 29. Das Gegengewicht. Die Drehachse. Das zur Herstellung des Gleichgewichts beim Öffnen der Brücke erforderliche Gegengewicht wird an dem Ende der Hinterklappe angebracht und besteht in der Regel aus Gufseisen, welches unmittelbar in Form von Blöcken (Textfig. 71), oder in besonderen, zu diesem Zwecke angebrachten gufseisernen (Textfig. 51 a u. b) oder schmiedeisernen Kasten (Textfig. 68) ruht und dann auch aus Steinen und ähnlichem bestehen kann. In der jüngst vollendeten Hansabrücke zu Stettin (Litt. 51 nach § 34) wurden, des sehr kurzen Hinterarmes der Klappe halber, Bleiplatten genommen. Bei früheren Ausführungen findet man mehrfach außer dem

Fig. 58. Gegengewicht am Hinterende der Schwingenbrücke über den Nivernais-Kanal.

(Vergl. Textfig. 64.) M. 1 : 40.



eigentlichen Hauptgegengewicht ein verschiebliches Gegengewicht, um die Lage des Klappenschwerpunktes genau nachstellen zu können. So betrug z. B. bei der oben genannten Fyenoordbrücke (Taf. V, Fig. 1 der Litt. 16 nach § 34) das Hauptgewicht 50,4 t und das längs einer Schraubenspinde verschiebbare Regelungsgewicht 3,8 t. — Ähnlich ist die Anordnung bei der Schwingenbrücke über den Nivernais-Kanal (Text-

fig. 58 u. 64). Das Hauptgegengewicht besteht aus einer über die ganze Breite (2,5 m) der Fahrbahn sich erstreckenden gerippten Gufsplatte. Über die eigenartigen Anordnungen des Gegengewichtes bei den neueren amerikanischen Klappbrücken siehe Textfig. 78 und 80 bis 82.

Bei Brücken, deren Hinterklappe oder auch nur das Gegengewicht beim Öffnen ins Wasser kommt, wird das Gegengewicht nicht an der Klappe befestigt, sondern mittels Ketten derart angehängt, dafs dasselbe stets im Wasser bleibe und somit mit stets gleichbleibender Kraft wirke.

Als Beispiele seien erwähnt die Langebro in Kopenhagen (Textfig. 53 und Litt. 16 nach § 34); ferner die Frederiksholmskanal-Brücke (Litt. 13 nach § 34) in Kopenhagen. Das Gegengewicht besteht aus einem oben offenen Blechkasten mit gußeisernen, in Zement vergossenen Ballaststücken von je 48,5 kg. Bei der sehr schiefen Börsenkanal-Brücke zu Kopenhagen mußte für den rechten, das Bahngleis tragenden Hauptträger das Gewicht im Verhältnis 37 : 26 gröfser als für den linken gemacht werden. Infolge dessen ist hier der 6,27 m lange, 1,06 m breite Gegengewichtskasten mit veränderlicher Höhe 0,94 bis 0,47 m ausgeführt.

Auch bei der Honig-Brücke in Königsberg (Textfig. 62) befinden sich die (für jede Klappe zwei) Gegengewichte stets unter Wasser. Sie haben Abmessungen von 3,7 m \times 0,54 m \times 0,835 m, werden im oberen Teile, der bequemerer Gewichtsausgleichung halber, aus Platten gebildet und hängen jedes mittels zweier Ketten an zwei Kettenscheiben. An derselben Welle wie die letzteren sitzen vier schneckenförmige Scheiben, in welche die an den Untergurten der vier Klappen-Hauptträger angebrachten Viertelkreise von 1,48 m Halbmesser greifen. Bezüglich der Anordnung von im Wasser hängenden Gegengewichten ist zu erwähnen, dafs bei Frost eine Störung kaum eintreten kann. Denn so lange das Eis nicht dick ist, wird dasselbe vom Gegengewichte leicht durchbrochen; bei stärkerem Eise hört aber die Schifffahrt ohnedies auf.

Bei neueren Ausführungen vermeidet man meist das Eintauchen der Gegengewichte in das Wasser, indem man für deren Führung in wasserdicht abgeschlossenen Räumen sorgt (Textfig. 71). Eine andere, eigenartige Lösung zeigt Textfig. 79, bei welcher die Träger der Nebenöffnung gleichzeitig das Gegengewicht bilden.

Bei den neueren eisernen Klappbrücken läfst man gewöhnlich den Schwerpunkt der Klappe (samt Gegengewicht) in die Mittellinie der Drehachse fallen (Textfig. 68 u. 71). Doch könnte man durch Höherlegen des Schwerpunktes erreichen, dafs letzterer bei geöffneter Klappe hinter die Drehachse zu liegen kommt und dadurch ein Drehmoment entsteht, welches etwa bei ins Wasser tauchendem Gegengewichte den Wasserantrieb ausgleicht. Befindet sich dagegen der Schwerpunkt der Klappe unter und hinter der Achse und beschreibt derselbe bei der Bewegung der Brücke einen Bogen, dessen Mitte in der Lotrechten durch die Drehachse geht, so wird die Klappe sowohl beim Öffnen als auch beim Schliefsen zuerst sehr leicht sich bewegen und erst später eine gröfsere Bewegungskraft erfordern. Der beim Schliefsen der Brücke sich hieraus ergebende Vorteil kommt jedoch bei den jetzt verwendeten wirksamen Bewegungsvorrichtungen um so weniger in Betracht, als damit Erschütterungen auftreten, deren Hintanhaltung viel wichtiger erscheint als eine geringe Kraftersparnis.

Die Drehachse, früher aus Schweifeseisen, jetzt aus Flufseisen oder Gufsstahl, geht bei den meisten Brücken ganz durch und erhält, je nach der Auflagerung, eine gleichbleibende oder veränderliche Stärke (z. B. bei der Knippelsbro, Bl. 2, Fig. 1 c, Litt. 16 nach § 34, eine Stärke von 0,26 bis 0,47 m). An der Fyenoorder Klappbrücke (Bl. 5, Fig. 1, Litt. 16 nach § 34) sind die Drehachsen (sowie alle entsprechenden Querverbindungen) gestofsen, um die 10,5 m breite Brücke der Längsachse nach in zwei Teile teilen zu können. (Bei Auswechselungen wird der Verkehr nur auf der einen Brückenhälfte unterbrochen.) Bei der Towerbrücke (Textfig. 66) ist die 533 mm

starke Achse nur in der Mitte gestoßen, alle Querverbindungen u. s. w. aber durchlaufend angeordnet. Bei den neuesten, sehr breiten Klappbrücken findet man die durchlaufende Drehachse mehrfach gestoßen und an der Stoßstelle durch lösbare Kuppelungen verbunden.

Bei einer größeren Anzahl neuerer Brücken besteht die Drehachse aus einem zwischen den Hauptträgern sich erstreckenden hohlen Balken rechteckigen oder runden, aus Winkeleisen oder sonstigen Profileisen (Phönix- oder Quadranteisen) zusammengesetzten Querschnittes, an welchen sich gufsstählerne Endstücke mit Drehzapfen anschließen (vergl. Textfig. 68 u. 71).

Endlich findet man auch die Drehachse nicht einheitlich durchgeführt, sondern, wie z. B. bei der Klappbrücke in den neuen Hafenanlagen zu Amsterdam (Litt. 9 nach § 34), aus zwei getrennten stählernen Achsenden bestehend, welche in Gufsstücke verkeilt und durch dieselben aufser mit den Hauptträgern auch mit je einem der drei Zwischenlängsträger verbunden sind, welche ihrerseits zwischen Querträger verspannt sind. Durch kräftigen oberen und unteren wagerechten Kreuzverband wird dieses System von Quer- und Längsträgern zu einem einheitlichen Ganzen verbunden.

Die Beantwortung der Frage, ob eine größere oder kleinere Anzahl von Unterstützungspunkten für die Drehachse vorzuziehen sei, wird sich nach den Biegemomenten, welche auf die Achsen wirken, richten. Im allgemeinen werden in nur zwei Lagern gestützte Achse leichtere Drehbarkeit zeigen. Bei Anwendung mehrerer Lager hat man auf die genaue Erhaltung ihrer Höhenlage zu achten, wenn keine Klemmungen stattfinden sollen.

Berechnung einer Drehachsenlagerung mit Walzen- oder Kugellagern. Der Halszapfen vom Durchmesser d ruhe auf 4ν Kugeln oder Walzen vom Durchmesser d_k ; dann trifft von der Gesamtbelastung P des Zapfens als größte Einzellast nach Ernst (S. 585, Litt. 10 nach § 110) auf eine Kugel bzw. eine Walze:

$$K = \frac{P}{1 + 2 \cos^2 \gamma + 2 \cos^2 2 \gamma + \dots + 2 \cos^2 \nu \cdot \gamma} \dots \dots \dots \text{a)}$$

unter der Voraussetzung, daß ν Kugeln im Viertelkreis, d. h. $\nu \gamma \leq 90^\circ$ ist. Die Winkelgröße γ bestimmt sich aus $\gamma = \frac{d + d_k}{c + d_k}$, wobei $c = \frac{(d + d_k)\pi}{4\nu} - d_k$ den lichten Zwischenraum der Kugeln bzw. Walzen bedeutet. Stribeck kommt nach einer schärferen Berechnungsweise zur Gleichung:

$$K = \frac{5 P}{4 \nu} \dots \dots \dots \text{b)}$$

Beispiel: Bei der Towerbrücke (Textfig. 66) ist $d = 533$; $d_k = 113$ mm und $4\nu = 17$:

$$\gamma = \frac{533 + 113}{6,4 + 113} = 21^\circ 10'; \quad c = \frac{(533 + 113) 3,14}{17} - 113 = 6,4 \text{ mm}; \quad K = \frac{P}{4,0} = 0,250 P.$$

$$\text{Nach Stribeck: } K = \frac{5 P}{17} = 0,295 P.$$

§ 30. Bewegungsmechanismus. Erforderliche Kraft und Zeit für das Öffnen und Schließen der Brücke. Die Klappen werden, je nach der frei zu machenden Durchfahrthöhe unter denselben, entweder nur um einen Teil eines rechten Winkels (Textfig. 71, 75, 78 u. 82 bis 84; Augusta-Brücke, Textfig. 51, Aufschlag 26°) oder um fast volle 90° gedreht. Auch in letzterem Falle läßt man jedoch die Klappe nicht ganz bis zur lotrechten Stellung zurückschlagen, um an Zeit zu sparen und das Schließen der Brücke zu erleichtern.

Die Schwingenbrücke über dem Unterhaupte einer Schleuse des Nivernais-Kanals (Textfig. 64) läßt sich sogar nur soweit anheben, daß zwischen dem vorderen Brückenende und dem Auflager ein freier Spalt von nur 0,20 m entsteht, welcher zum Durchlassen der Zugleine für die zu Berg fahrenden Boote genügt. Die Pferde ziehen nämlich nicht gleichmäßig, sondern ruckweise; werden nun die Tiere kurz vor der Brücke zur Anwendung ihrer vollen Kraft angetrieben, so kann die Zugleine in dem hiernach folgenden schlaffen Zustande mit der Hand durch die Brückenspalte geführt werden.

Die Drehbrücke im Bassin Joliette (Textfig. 121) wird für den Verkehr kleiner Schiffe als Klappbrücke in der aus letztgenannter Textfigur unmittelbar ersichtlichen Weise verwendet. Erst wenn das Verkehrsprofil eine gewisse Höhe erfordert, erfolgt das Ausdrehen der Brücke.

Die Bewegungsvorrichtungen sind verschieden und haben besonders in jüngster Zeit eine weitgehende Vervollkommnung bei großer Mannigfaltigkeit der Einzelanordnungen erfahren (vergl. hierüber § 44). Bei der unlängst genannten Schwingenbrücke über die Schleuse des Nivernais-Kanals ist der hintere 3 m lange Arm infolge angebrachter Gegengewichte um ein Geringes schwerer als der 5,9 m lange Vorderarm. Je nachdem, nach Lösung des Riegels, der Brückenwärter sich auf den kürzeren oder längeren Arm stellt, findet Öffnung oder Schließung der Brücke statt.

Die Anwendung einer Kette, welche am Ende der Hinterklappe befestigt ist, empfiehlt sich bei nicht zu großer Länge der Hinterklappe, wenn eine genügende Tiefe zur Verfügung steht, damit die Kette an der Brücke unter keinem zu spitzen Winkel angreife (vergl. Taf. VII, Fig. 1 u. 2 der Litt. 16 nach § 34).

Ähnlich ist die Anordnung bei der in Textfig. 63 dargestellten Brücke. Die Kettentrommel *b* für die 13 mm starke Kette ist jedoch konisch-spiralförmig konstruiert, um eine größere Gleichmäßigkeit der erforderlichen Zugkraft zu erzielen. Der Schwerpunkt der Klappe liegt etwas vor der Welle, daher vermindert sich beim Heben das statische Moment.

Die Klappbrücke in den neuen Hafenanlagen zu Amsterdam hat statt einer Kette eine feste Schraubenspinde erhalten (Textfig. 49, S. 49), welche durch eine Zahnradübertragung gedreht und dadurch auf ihr ein mit einem Muttergewinde versehener Kreuzkopf verschoben wird. Dieser Kreuzkopf ist mit seitlichen Achsschenkeln versehen und greift mittels besonderer Futterstücke zwischen am Ende zwischen den Hauptträgern geeignet befestigte Gleitbahnen, welche er zwingt seiner Bewegung zu folgen, und so die Bewegung auf die ganze Brücke überträgt.

Auf das oberste Ende der unten in einem festen Stützlager ruhenden, oben in einem Halslager geführten Schraubenspinde von 100 mm Kerndurchmesser ist ein konisches Rad aufgekeilt, welches in ein zweites eingreift, dessen lotrecht stehende Achse durch einen Stockschlüssel mittels eines 1 m langen Hebels gedreht werden kann.

Gewöhnlich besorgt ein Mann die Bewegung der Brücke, wobei 17 Umdrehungen des Schlüssels in 2,5 Minuten erforderlich sind. Bei stärkerem Winddrucke arbeiten zwei Mann gleichzeitig an dem doppelarmigen Hebel von 1 m Länge.

Diese Einrichtung hat gegenüber derjenigen mit Kette (Textfig. 63) den Vorteil einer vollkommeneren Zwangsläufigkeit sowie der Möglichkeit, die Brücke in jeder Stellung festhalten zu können.

Eine von den bis jetzt beschriebenen abweichende Bewegungsvorrichtung ist bei der Augusta-Brücke (Textfig. 51 u. Litt. 42 nach § 34) am mittleren Hauptträger zur Anwendung gekommen. Die Klappe wird durch Niederdrücken des hinteren Trägertheiles geöffnet. Zu diesem Zwecke bewegt die mittels Stockschlüssel von der Strafe

aus zu drehende Schraube ohne Ende b den gezahnten Sektor c . Mit letzterem auf derselben Welle d sind die Kurbeln n aufgekeilt, die bei ihrer Drehung mittels der Pleuelstangen l den Träger der Hinterklappe auf- und abwärts bewegen. Vorteil: geschützte Lage des wenig Raum einnehmenden Bewegungsmechanismus. Um die Veränderlichkeit der bewegenden Kraft möglichst gering zu erhalten, wurde der Brückenschwerpunkt S (Textfig. 59) so gelegt, daß derselbe beim Klappenaufschlag von $\frac{1}{2} 18^\circ = 9^\circ$ (der Gesamtaufschlag beträgt nämlich gewöhnlich nur 18°) sich senkrecht über der Drehachse C befindet.

Die größte Kraft ist alsdann erforderlich, um die Klappe aus der Stellung des Maximalaufschlages zurückzudrehen. Ist D = Schraubewelle, B = Kurbelzapfen, A = Blattzapfen an der Klappe, also BD = Kurbel, AB = Pleuelstange, r = Halbmesser des Drehzapfens C , G das Gewicht der Klappe, m = Länge der Senkrechten von D auf AB , n = desgl. von C auf AB , t = wagerechter Abstand des Schwerpunktes S von der mittleren Lotrechten CY , μ der Zapfenreibungskoeffizient, so ist die zur Überwindung der Drehzapfenreibung erforderliche Kraft P , zurückgeführt auf den Schraubendradhalbmesser R :

$$P = G \frac{m}{n} \left(\frac{t + \mu r}{R} \right).$$

Die entsprechende, am mittleren Schraubenumfange auszuübende Kraft beträgt demnach, wenn α = Steigungswinkel der Schraube, r = Schraubendradhalbmesser (bis zur Berührungsstelle mit dem Zahnsektor gemessen), und μ = Reibungskoeffizient daselbst

$$S = \frac{\mu + \tan \alpha}{1 - \mu \tan \alpha} \cdot P.$$

Ferner beträgt die Reibung an der oberen Ringfläche der Schraubewelle, wenn r_1 den inneren und r_2 den äußeren Halbmesser dieser Ringfläche bedeutet, auf den mittleren Schraubenumfang zurückgeführt:

$$S_1 = \frac{2}{3} \frac{\mu P}{r} \cdot \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2^2 - r_1^2}.$$

Daher die erforderliche Kraft K am Stockschlüssel vom Halbmesser a : $K = (S + S_1) \frac{r}{a}$.

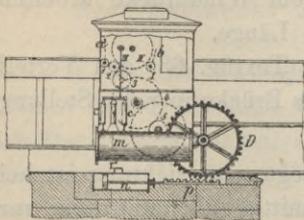
Bei der Augusta-Brücke ist $G = 12500$ kg und es berechnet sich für einen Aufschlagwinkel:

$\varphi = 0^\circ$	9°	18°	23°	26°
$K = 7,3$	$1,8$	$27,0$	34	0 kg.

Bei späteren Klappbrücken wendete man häufig unmittelbar auf der Drehachse sitzende Zahnräder an, in welche durch Kurbeln getriebene Zahnradvorgelege eingreifen. So sind z. B. bei der Langebro (Textfig. 53) für jede Klappe 2 fünfschichtige Vorgelege von 1:90 Gesamtübersetzung angebracht. Bei stillem Wetter kann jedoch auch mit 1:45 gearbeitet werden, indem ein Zahnradpaar ausgelöst wird. Ein Mann hebt die 10,06 m lange (bis Drehachse) und 10,05 m breite Klappe in $\frac{3}{4}$ Minuten.

Fig. 60. Bewegungsvorrichtung der Knippelsbro, Kopenhagen.

M. 1:125.



Bei der Knippelsbro (Textfig. 60 und Litt. 5 u. 16 nach § 34) ist ebenfalls an der Drehachse das große Zahnrad D aufgekeilt, welches auf dreierlei Weise, nämlich entweder durch Handbetrieb oder mittels Wasserdruck oder endlich mittels Luftdruck gedreht werden kann (zur Sicherheit wegen Frost, Bruch u. s. w.)

Soll die Drehung mittels Hand erfolgen, so wirkt die Kurbel a durch Vermittelung der Zahnräder 1, 2, 3, 4, 5 auf das mit der Brückenachse fest verbundene Zahnrad D . Zwei Arbeiter können die Klappe bei 432facher Übersetzung in 98 Sek. heben und wieder senken. — Soll die Bewegung

mittels des Druckes der Kopenhagener Wasserleitung geschehen, so läßt man das Wasser in den Zylinder n von 0,31 m Durchmesser eintreten und durch Vermittelung eines Kolbens auf die in das Rad D

greifende Zahnstange p wirken. Zum Öffnen und Schließen der Brücke, was bei 4,2 kg f. d. qcm Volldruck in 50 bis 60 Sekunden erfolgt, ist ein Kolbenhub von 1,18 m Länge erforderlich. — Die Drehung mittels Luftdruck geschieht in ähnlicher Weise, indem man komprimierte Luft in den erwähnten Zylinder p einströmen läßt. Die verdichtete Luft wird in dem gusseisernen Zylinder m von $0,61 \times 2,54$ m bereit gehalten und zwar erfolgt die Zusammenpressung derselben durch einen Satz von 6 Paar Luftpumpenzylindern cc , deren Bewegung durch Vermittelung von Balanciers durch Handbetrieb (Kurbel b , Zahnrad II, Warzenstange III) eingeleitet wird. Das Öffnen und Schließen der Brücke dauert in diesem Falle 1 bis $1\frac{1}{4}$ Minuten.

Bei den neuesten großen Klappbrücken sitzen auf den Drehachsen Zahnquadranten, in die Ritzel greifen, welche durch ein mittels Wasserdruck, Dampfkraft oder Elektrizität betriebenes Vorgelege gedreht werden. Als Beispiel siehe die Towerbrücke (Textfig. 66 u. Litt. 18 nach § 34).

Einen äußerst einfachen Antrieb der Drehachse zeigen neueste holländische Klappbrücken, bei denen durch Wasserdruck getriebene Kolben unmittelbar auf die auf die Enden der Drehachse aufgekeilten Kurbeln wirken (vergl. Textfig. 67, § 32 b.).

Besteht die Drehachse zwischen den Hauptträgern aus einem hohlen Blechbalken (vergl. Textfig. 68 u. 71), so wird an jedem Hauptträger ein gezahnter gussstählerner Kreisabschnitt befestigt (Textfig. 68 e). In diese gezahnten Kreisabschnitte greifen stählerne, durch ein gemeinschaftliches Windvorgelege bewegte Zahnräder ein (Textfig. 68 und in Textfig. 71 für Handbetrieb) oder eine durch Druckwasser bewegte stählerne Zahnstange führt unmittelbar die Drehbewegung aus (Textfig. 71). Vergl. die Schmiedebrücke in Königsberg (§ 32, d.) und die Rendsburger Klappbrücke (§ 32, c.).

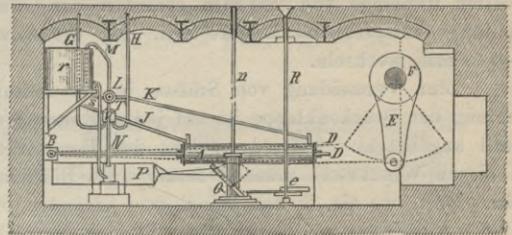
Zweckmäßig ist es, auf jeder Seite der Klappe eine solche Bewegungsvorrichtung anzuordnen, von denen eine als Ersatz dient. In den Textfiguren 61 a und b ist die Bewegungsvorrichtung der durch ihre Abmessungen hervorragenden Klappbrücke zu Fyenoord (Taf. V, Fig. 1 bis 13 der Litt. 16 nach § 34), deren beide Klappen je 13,50 m Länge (bis Drehachse gemessen) und 10,58 m Breite besitzen, schematisch dargestellt. Zur Bewegung der Brücke dient eine Gaskraftmaschine oder Menschenkraft und es wird die bewegende Kraft durch Wasserdruck auf die Brückenachse übertragen.

An jedem Ende beider Drehachsen F' ist eine 1200 mm lange Kurbel E angebracht, deren Bewegung durch einen Kolben von 262 mm Durchmesser und 1543 mm Hub hervorgerufen wird, welcher sich in dem im Lichten 1700 mm langen Presszylinder A von 30 mm Wandstärke befindet und durch Wasser von 3 bis höchstens 30 Atmosphären Druck hin und her verschoben wird. Die Kolbenstange geht durch beide Deckel des Zylinders und hat 70 bzw. 50 mm Stärke. An den beiden Zapfen des schmiedeeisernen Kreuzhauptes B fassen die knickfesten (gestrichelten) Kurbelstangen D , die mit ihren anderen Enden an den Kurbelwarzen angreifen und die Kurbel um 80° (entsprechend der Hubhöhe des Kolbens) drehen können.

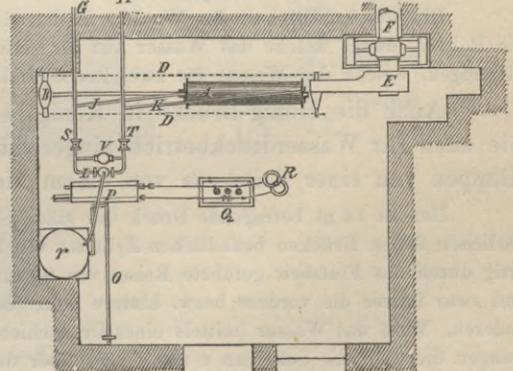
Fig. 61. Bewegungsvorrichtung der Klappbrücke zu Fyenoord (Rotterdam).

M. 1 : 100.

Längsschnitt. a.



Grundriss. b.



An jedem Ende jedes der Prefszylinder *A* mündet ein Wasserrohr *J* und *K*. Die beiden Rohre *G* und *H* kommen von dem Prefszylinder auf der anderen Seite der Strafe und vereinigen sich mit den Röhren *J* und *K* zu den Röhren *S* und *T*, welche den doppelten Querschnitt der ersteren haben. Die beiden Röhren *S* und *T* vereinigen sich ihrerseits in dem Hahne *L* mit doppelter Bohrung, in welchen noch zwei fernere Röhren münden: eine Röhre *N*, welche das Wasser von den Druckpumpen *P* zuleitet und eine Röhre *M* zur Abführung des gebrauchten Wassers (bezw. einer Glycerinflüssigkeit vom spez. Gewicht 1,12) nach dem möglichst hoch gelegenen Behälter *r* (von 660×600 mm und 3 mm Wanddicke), von wo dasselbe wieder für die Druckpumpen gebraucht werden kann. Der doppelt gebohrte Hahn *L* kann mittels der Welle *O* mit Kettenscheibe und einer nach oben gehenden Kette ohne Ende von der Strafe aus gestellt werden, wodurch der Zufluss des Wassers nach der Vor- oder Hinterseite des Kolbens im Prefszylinder behufs Öffnens oder Schließens der Brücke oder der Abflus des Wassers nach dem Behälter beim Stillstande der Brücke reguliert wird. Der Sicherheit halber wird der Hahn *L* selbsttätig von dem Kreuzkopf *B*, mit welchem derselbe durch eine Kette verbunden ist, gestellt.

Das Rohr *N* empfängt das unter gewöhnlichen Umständen nur mit 3 Atmosphären wirkende Druckwasser von einem Paar doppelt wirkender Pumpen *P*, welche in einem der Keller angebracht sind und deren 118 mm im Durchmesser haltender Kolben eine nach Bedarf veränderliche Hubhöhe von 300 bis 118 mm machen kann, was von der Strafe aus mit Hilfe der Kulissee *Q* durch die Welle *n* reguliert wird. Die Bewegung der Druckpumpen-Kolben erfolgt mit Hilfe zweier Exzenter *e*, welche auf der Welle *R* sitzen. Diese geht durch die Kellerdecke und kann von der Strafe aus mittels 1 bis 1,5 m langer Druckbäume gedreht werden. Gewöhnlich wird jedoch die Exzenterwelle *R* mittels Riemenscheibe von einer 7,5-pferdigen Gaskraftmaschine (in der Figur weggelassen) in Bewegung gesetzt, deren Hauptwelle, unabhängig von dem zu überwindenden Widerstand, 160 Umdrehungen in der Minute macht. Durch Zahnradübersetzung wird die Geschwindigkeit der Pumpen auf 20 Hübe in der Minute gebracht. Die Bewegungsgeschwindigkeit der Brücke wird durch die Kulissee geregelt. Bei der größten Hublänge von 200 mm erfordert das Öffnen oder Schließen 54 Sekunden und bei kleinerer Hublänge entsprechend längere Zeit. Bei der Anwendung des Handbetriebes kann die Hublänge von 0—140 mm wechseln.

Zur Vermeidung von Stößen in der Leitung bei etwa plötzlicher Änderung der Bewegungsrichtung der Brückenklappe ist auf jedem Rohre *S* und *T* ein für 30 Atmosphären belastetes Sicherheitsventil angebracht. Außerdem steht das Hauptdruckrohr *N* mit einem Windkessel *V* in Verbindung. In diesen Windkessel münden ferner zwei Röhren, von denen jede nach einer der Röhren *S* und *T* geht. Dort, wo sie in den Windkessel eintreten, sind sie mit Sicherheitsventilen geschlossen, die bei 1 bis 2 Atm. Überdruck ausblasen. Endlich ist auch noch an jedem Ende des Prefszylinders *A*, dort wo die Röhren einmünden, ein Luftpuffer (ein hohler, durch Spiralfedern niedergedrückter Plunger) angebracht.

Die Geschwindigkeit des Wassers in den Röhren beträgt 1,5 m in der Sekunde und es erhalten die Röhren, durch welche das Wasser nur für einen Prefszylinder fließt, 35 mm Durchmesser, dagegen diejenigen, welche das Wasser für zwei Prefszylinder leiten, 50 mm Durchmesser.

Auch die Honig-Brücke in Königsberg i. Pr. (Textfig. 62) ist sowohl für Hand- wie auch für Wasserdruckbetrieb eingerichtet und zwar können in letzterem Falle beide Klappen von einer Seite aus von einem Manne geöffnet oder geschlossen werden.

Der an 16 m betragende Druck der städtischen Wasserleitung wirkt in je einem unter jeder der seitlichen festen Brücken befindlichen Zylinder von 700 mm Durchmesser (Fig. 62 a). Durch zwei dükerartig durch das Flufsbett geführte Rohre von 95 mm sind die beiden Zylinder miteinander verbunden und zwar immer die vordere bezw. hintere Seite des einen mit der vorderen bezw. hinteren Seite des anderen. Wird das Wasser (mittels eines Drehschiebers) hinter die Kolben geleitet, so setzen die Kolbenstangen die über die Scheiben *e* und *f* und über den am mittelsten Längsträger sitzenden kleinen Quadranten *s* bis zum Punkte *g* gehende und dort befestigte Kette und damit die ganze Klappe in aufsteigende Bewegung. Soll dagegen die Brücke geschlossen werden, so wird das Wasser vor die Kolben geleitet. Die Kolbenstange bewegt sich dann in umgekehrter Richtung, wodurch die auf die Scheibe *k* und über denselben Quadranten bis zum Punkte *C* gehende Kette in Bewegung gesetzt und dadurch das Schließen beider Klappen bewirkt wird. Ein für beide Zylinder gemeinschaftliches Abflußrohr zur Abführung des verbrauchten Wassers ist an den Drehschiebern befestigt.

Der Zeitaufwand zum Öffnen bezw. Schließen beider Klappen beträgt 40 Sekunden und ermäßigt sich beim Öffnen einer Klappe (bei abgesperrten Dükerrohren) auf 30 Sekunden. Der Handbetrieb erfordert auf jeder Seite mindestens einen Mann und 3 bis 4 Minuten Zeit.

Fig. 62 a u. b. Honig-Brücke in Königsberg. M. 1 : 100.

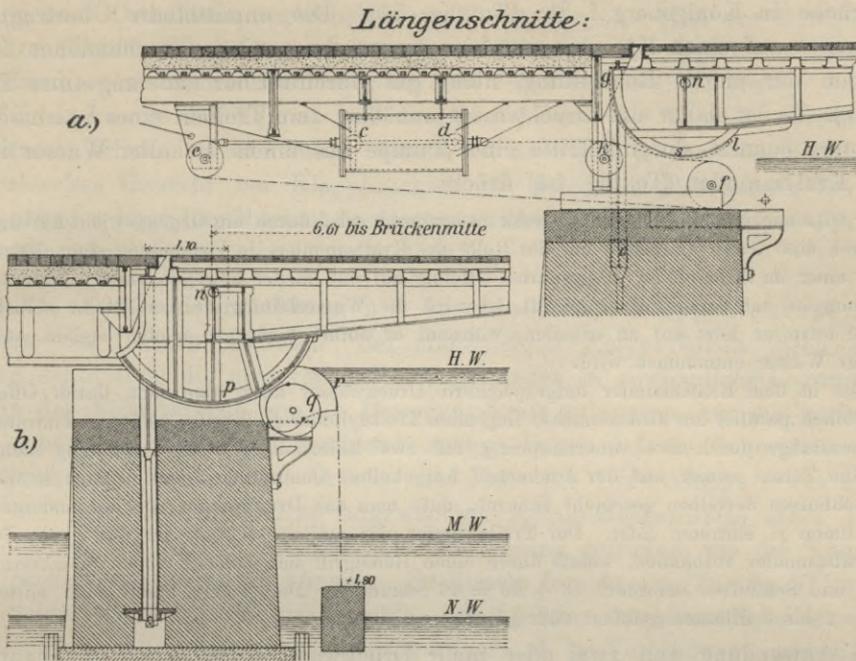


Fig. 63 a bis d. Klappbrücke über den Festungsgraben in Köln. M. 1 : 72.

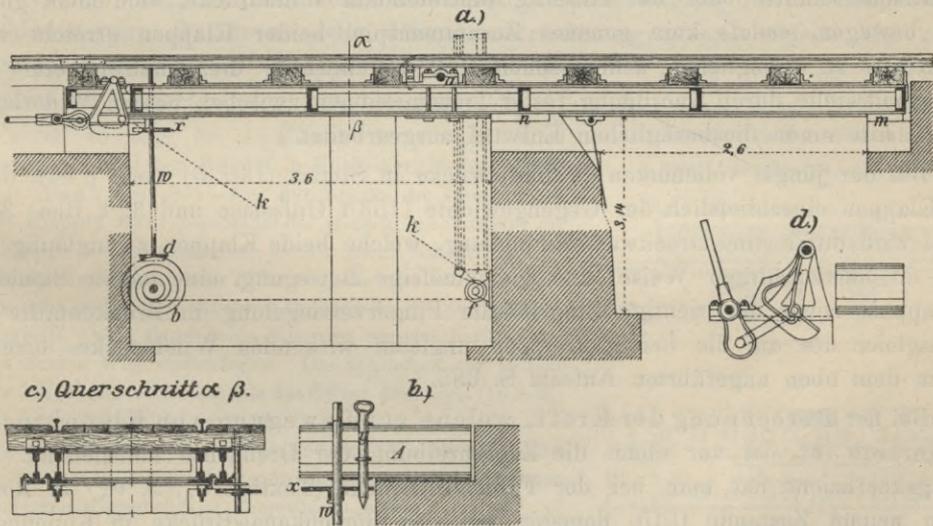
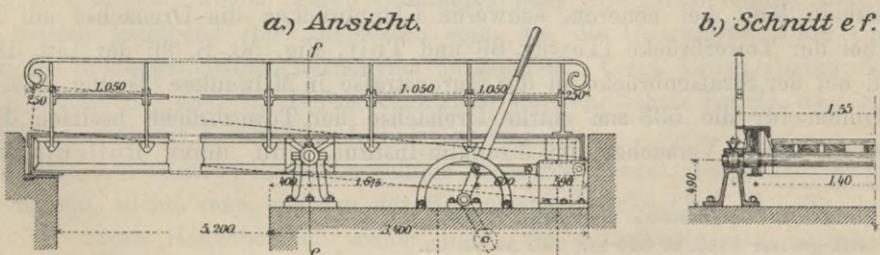


Fig. 64 a u. b. Nivernais-Kanal. M. 1 : 80.



Weniger einfach als die soeben beschriebene ist die Bewegungsvorrichtung der Hohen Brücke in Königsberg i. Pr. (Textfig. 54). Die unmittelbare Übertragung des Wasserdruckes auf einen Zylinder war hier wegen des geringen vorhandenen Druckes, sowie wegen der engen Rohrleitung, nicht gut durchführbar (zu langsames Bewegen der Brücke). Es ist daher das Druckwasser zunächst zum Treiben eines Schmidt'schen Wassermotors benutzt, der mit Hilfe einer Pumpe aus einem Behälter Wasser in einen liegenden Kraftsammler (Textfig. 54) drückt.

Der 37 Atmosphären betragende Druck in letzterem wird durch ein Gegengewicht hervorgebracht, welches durch eine Gall'sche Kette mit der Rolle des Kraftsammlers in Verbindung steht (Textfig. 54 a) und sich in einer im Strompfeiler ausgesparten Öffnung auf und nieder bewegen kann. Ist so der Kraftsammler genügend mit Druckwasser gefüllt, so wird die Wasserleitung zu dem Motor selbsttätig abgesperrt und letzterer hört auf zu arbeiten, während er sofort wieder zu spielen beginnt, sobald dem Kraftsammler Wasser entnommen wird.

Dieses in dem Kraftsammler aufgespeicherte Druckwasser kann man nun, durch Öffnen eines Hahnes, in einen parallel zur Brückenachse liegenden Treibzylinder f_1 (Textfig. 54 b u. c) eintreten lassen, dessen Kolbenstange durch zwei Querhäupter g mit zwei Zahnstangen h in Verbindung steht. Diese greifen in die Zähne zweier auf der Drehachse festgekeilter Quadranten i und drehen so die Brücke auf. Das Schließen derselben geschieht dadurch, daß man das Druckwasser von der anderen Seite in den Treibzylinder f_1 eintreten läßt. Der Treibzylinder der anderen Klappe ist durch ein Dükerrohr mit dem Kraftsammler verbunden, sodafs durch einen Hebelgriff sich beide Klappen gleichzeitig öffnen. Das Öffnen und Schließen erfordert $16 + 30 = 46$ Sekunden. Die Brücke kann auch mittels Handbetrieb in je 2 bis 3 Minuten geöffnet oder geschlossen werden.

Bei Anwendung von zwei oder mehr Druckwasser-Prefskolben ist anzunehmen, daß dieselben, infolge ungleicher Spannungen in den Dichtungen, infolge ungleicher Durchflußquerschnitte oder bei einseitig eintretendem Winddrucke, sich nicht gleichmäfsig bewegen, sodafs kein genaues Zusammenspiel beider Klappen erreicht wird. Um letzteres zu ermöglichen, schlug schon 1883 Hofmann⁷⁾ die Schaffung einer einzigen Arbeitsstelle durch Anordnung fester Transmissionen zwischen beiden Widerlagern vor und hatte einen diesbezüglichen Entwurf ausgearbeitet.⁸⁾

Bei der jüngst vollendeten Hansa-Brücke in Stettin (Litt. 51 nach § 34), deren beide Klappen einschliefslich der Gegengewichte (153 t Gußeisen und 32 t Blei) 350 t wiegen, wird durch eine Druckwasserkuppelung, welche beide Klappen zwangläufig verbindet, in mustergültiger Weise eine gleichmäfsige Bewegung, eine leichte Steuerung der Klappen, sowie der richtige Eingriff der Fingerverriegelung in Brückenmitte und ein Ausgleich des auf die beiden Klappen ungleich wirkenden Winddruckes erreicht. Siehe in dem oben angeführten Aufsatz S. 685.

Bei der Berechnung der Kraft, welche zur Bewegung von Klappbrücken erforderlich ist, ist vor allem die Zapfenreibung der Drehachse maßgebend. Als Reibungskoeffizient hat man bei der Fyenoord-Brücke (Textfig. 61, S. 61) in Rotterdam in neuem Zustande 0,15, dagegen bei der Börsenkanal-Brücke in Kopenhagen 0,2 gefunden.

Deshalb läuft bei neueren, schweren Klappbrücken die Drehachse auf Rollen, so z. B. bei der Towerbrücke (Textfig. 66 und Tuit, Fig. 50, S. 86 der Litt. 18 nach § 34) und bei der Strafsenbrücke in der Huronstrafse in Milwaukee (Textfig. 73 a, c u. e). Die Laufrollen für die 533 mm starke Drehachse der Towerbrücke besitzen 113 mm Durchmesser. Nach Versuchen im Franklin-Institut wird durch Rollenlager die

⁷⁾ Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1884, S. 494.

⁸⁾ Civilingenieur 1883, S. 529 mit Taf. 36 bis 39.

Reibung um 40 bis 50% vermindert. Ferner spielt der Winddruck eine Rolle, dessen Gröfse, je nach Örtlichkeit, verschieden angenommen wird. (Bei der Honig-Brücke in Königsberg, Textfig. 62, 20 kg auf das qm, in Richtung der Brückenachse, unter 10° zum Horizont.) In sturmreichen Gegenden und freier Brückenlage genügt die Annahme einer Windstärke von 150 kg/qm, weil hierüber hinaus der Verkehr überhaupt kaum mehr aufrecht erhalten werden kann. Ferner ist auch dem je nach der Nässe wechselnden spezifischen Gewicht bei Klappbrücken mit hölzernen Fahrbahnen Rechnung zu tragen, entweder durch Regelbarkeit des Gegengewichtes oder zweckmäßiger durch kräftige Ausgestaltung des Antriebmotors (vergl. § 44).

§ 31. Feststellvorrichtungen. Anschluss der Klappenfahrbahn an die Fahrbahn der festen Brücke. Bei einflügeligen Klappbrücken legen sich beim Schliesen der Klappe die niedergehenden Trägerenden in gewöhnliche Lagerplatten ein. Will man der Vorderklappe, um an Bewegungskraft zu sparen, nur ein geringes Übergewicht geben und doch einen genügend starken Druck auf die Lagerplatten ausüben, so zieht man, nach Schluß der Brücke, das Ende der Hinterklappe etwas an. Einen solchen bei einer Kölner Brücke angewandten Anhub-Mechanismus stellt Textfig. 63 dar. Bei derselben Brücke ist auch eine Vorrichtung getroffen, um die Klappe in beliebiger Stellung festhalten zu können. Zu diesem Zwecke ist (Textfig. 63) an der lotrechten Schlüsselwelle *w* eine wagerechte, mit Löchern versehene Scheibe *x* befestigt, in welche ein mit den festen Kellerdeckenträgern *A* in Verbindung stehender lotrecht verschiebbarer Bolzen *y* gesteckt werden kann.

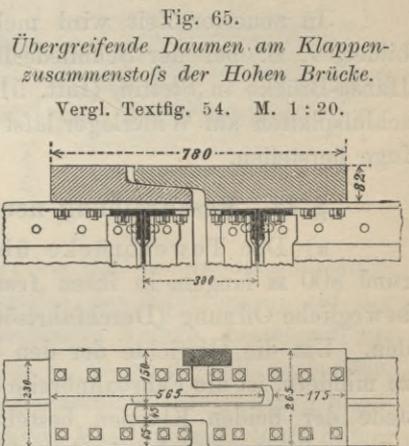
Bei zweiflügeligen Brücken wendet man, zur Übertragung des lotrechten Druckes, verschiedenartige Daumen- oder Fingervorrichtungen an, welche ein sicheres Zusammenwirken beider Klappen beim Hereinschreiten der Verkehrslasten gewährleisten sollen.

Textfig. 65 zeigt die Anordnung der übergreifenden Daumen an der Hohen Brücke in Königsberg (vergl. Textfig. 54). Damit beim Schliesen der Brücke die Daumen der beiden Klappen nicht gegeneinander stoßen, wird zuerst die eine Klappe heruntergelassen, jedoch nicht vollständig; sie wird vielmehr in bestimmter Höhe festgehalten, bis die andere Klappe sich senkt und mit ihren Daumen in die der ersteren hereingreift, wobei dann beide Klappen gemeinschaftlich den letzten kurzen Weg zurücklegen. Das Schliesen der Brücke dauert daher länger (30 Sek.) als das Öffnen derselben (16 Sek.). Vergl. auch Textfig. 56 in § 28.

Es mag hier auf die von Baerecke (Wochenbl. f. Baukunde 1882, S. 74) in Vorschlag gebrachte Verschlussvorrichtung für hölzerne Klappbrücken hingewiesen werden.

Anstatt der übergreifenden Daumen benutzt man zur Verbindung der beiden Klappen auch Riegel, welche durch Handhebel oder maschinell bewegt werden. Die Riegel müssen genügend stark bemessen sein, um die Querkräfte, unter Umständen sogar kleine Biegemomente aufnehmen zu können. Vergl. hierzu Textfig. 67, Handantrieb; Textfig. 68, 68f, 76, Luftdruckantrieb; Fortschrittsheft Textfig. 64c, S. 64 und Textfig. 20 bis 23 auf S. 684 der Litt. 51 nach § 34.

Einen noch festeren Zusammenschluss als durch Riegel, deren Ösen sich mit der Zeit ausnutzen, suchte man, wie bei der Knippelsbro-Brücke (Taf. II, Fig. 1, Litt. 15 nach § 34) durch Hakenbolzen, welche unter die Unterkante der beiden Klappen



an der Zusammenstoßstelle greifen und durch Schrauben angezogen werden können, zu erreichen.

Übrigens muß die Fuge zwischen den Klappen auch schon mit Rücksicht auf Wärmewirkungen eine gewisse Breite erhalten, wenn nicht Klemmungen entstehen und durch das feste Anstemmen der Klappen gegeneinander Seitenschübe gegen die Drehachsen bezw. gegen die Pfeiler abgesetzt werden sollen. Bei den großen neueren Ausführungen hat man deshalb einen längs beweglichen Fugenschluß im Scheitel der Klappen vorgesehen, so z. B. bei der Hansa-Brücke in Stettin (Fig. 20 bis 23, S. 684 der Litt. 51 nach § 34).

Der Anschluß der Brückentafel der Klappe an die des festen Widerlagers muß bei den Rollklappbrücken für die Fahrbahn und Fußwege meist in Stufen erfolgen; z. B. in der Van Buren-Straßenbrücke in den Fugen *SS* und *FF* (Textfig. 75 *c*, S. 77). Auch muß die Richtung der beabsichtigten Bewegungsweise entsprechend gewählt werden (vergl. Textfig. 83 *b*, § 32, *m*).

Die Fuge zwischen der Brückenfahrbahn und der festen Fahrbahn wird bei Straßenbrücken entweder mit kleinen Klappen überdeckt (vergl. Textfig. 51 *a*) oder man ordnet zweckmäßiger an dem letzten Querträger der festen Brücke Konsolen an, welche zum Tragen der ganz nahe bis an die Fuge sich erstreckenden Verlängerung der festen Fahrbahn dienen. Zum guten Abschluß dieser Fuge wird hierbei ein durchgehendes Gußstück angewandt. Bei der Honig-Brücke in Königsberg liegen auf den genannten Konsolen Granitplatten mit dem begrenzenden, im Querschnitte Z-förmigen Gußstücke (Textfig. 62). Bestehen die den Keller überdeckenden Balken aus Gußeisen, so kann man denselben eine solche Form geben, daß die etwas hinter die Drehachse verlängerte Klappenfahrbahn bei der Bewegung den nötigen Platz findet.

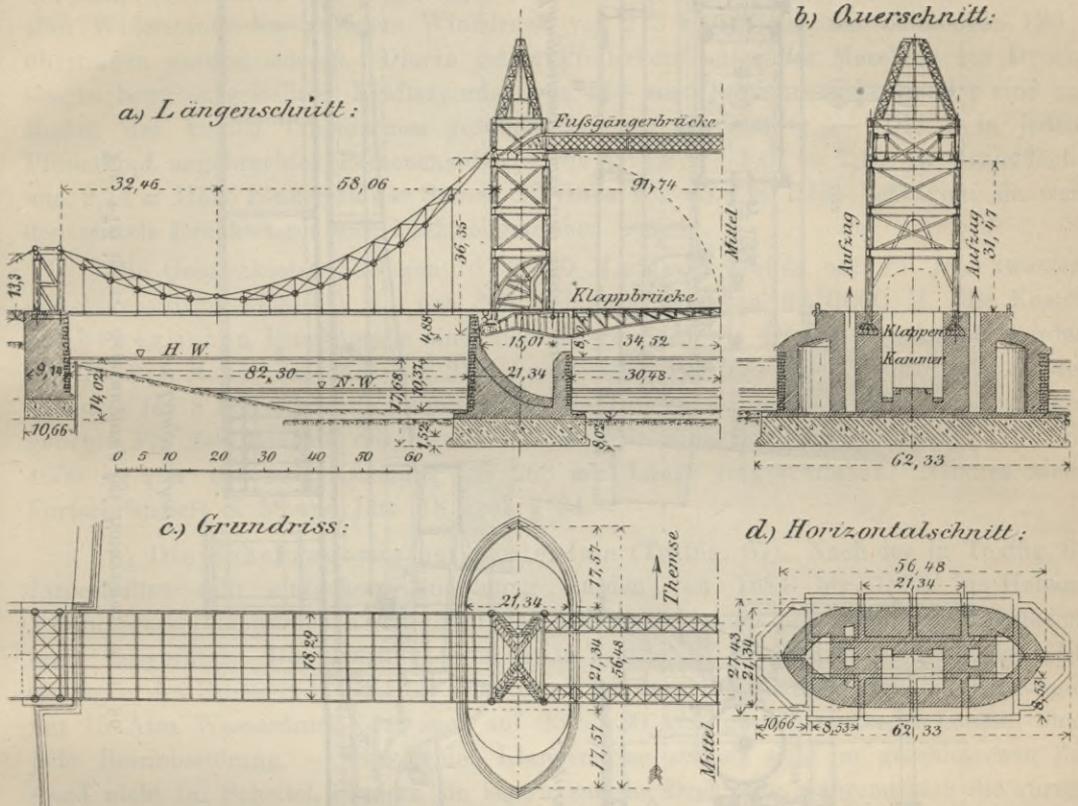
In neuester Zeit wird mehrfach die Fahrbahntafel aus Stahlgußplatten gebildet, z. B. bei der Schmiede-Brücke in Königsberg (Litt. 33 nach § 34) und der Hansa-Brücke in Stettin (Litt. 51 nach § 34). Durch geeignete Formgebung der Anschlußplatten am Widerlager läßt sich in sicherer und dauerhafter Weise die Anschlußfuge herstellen.

§ 32. Beschreibung neuerer ausgeführter Klappbrücken.

a) Die Towerbrücke über die Themse in London (Textfig. 66). Von der rund 800 m langen, in ihren festen Öffnungen 18,13 m breiten Brücke soll bloß die bewegliche Öffnung (Durchfahrtsöffnung) mit 60,96 m Lichtweite kurz besprochen werden. Um die Gewichte der den beweglichen Teil der Brücke bildenden Klappbrücken zu mindern, ist die Fahrbahnbreite daselbst auf 14,93 (= $9,75 + 2 \times 2,59$) m verkleinert. Jede der beiden Klappen besteht aus 4 in je 4,11 m Abstand angeordneten Hauptträgern, im wesentlichen je einen 49,53 m langen ungleicharmigen Hebel ($15,01 + 34,52$ m) bildend, der mittels einer 25 t schweren, 533 mm starken Welle durch zwei an deren Enden angreifende Getriebe mittels Druckwassermaschinen gedreht wird; die Welle ist auf einem aus Rollen von 113 mm Durchmesser bestehenden Rollenkranz gelagert. Die Bewegung erfolgt durch Zahnbogen, die mit den äußersten Hauptträgern fest verbunden sind (Textfig. 66 *a*). Bei unsymmetrischer Belastung der Durchfahrtsöffnung durch Verkehrslast bewirken 4 je 127 mm starke Riegel eine möglichst gleiche Senkung der beiden Kragarmenden in Öffnungsmitte. Die Klappen erhielten durch in je 3,66 m Abstand eingebrachte Querträger Versteifungsrahmen und durch die Buckelplattenabdeckung eine sehr große Seitensteifigkeit. Fuß- und Fahrweg besitzen Holzpflasterung.

Während bestimmter, von der Behörde festgesetzter Zeiten muß die Brücke für die Schifffahrt dauernd geöffnet bleiben. Dann erfolgt der Fußgängerverkehr auf den beiden oben gesondert angebrachten Wegen (Textfig. 66 a u. c, Längenschnitt und Grundriss), die durch in den Stahltürmen befindliche, mittels Druckwasser betriebene Aufzüge zugänglich gemacht sind.

Fig. 66 a bis d. Tower-Brücke über die Themse in London.



Das Öffnen und Schließen der Klappen erfordert bei 0,91 m Randgeschwindigkeit je 1 Minute, so daß das Durchfahren eines Schiffes den Fahrverkehr auf der Brücke rund 5 Minuten lang sperrt. — Die ganze maschinelle Anlage, bestehend aus Kesselanlage, Pumpen, Leitungen, Druckwassersammler u. s. w. ist doppelt vorhanden. Der Antrieb der mittels Wasserdruck wirkenden Bewegungsmaschinen erfolgt durch wagerechte Tandem-Verbundmaschinen von 360 PS. Der zweite Maschinensatz läuft immer leer mit, damit er in jedem Augenblick, auch während des Ganges, eingeschaltet werden kann. — Die Steuerung der Brücke erfolgt: 1. durch den Brückenwärter mittels Hebel und 2. selbsttätig, um Irrungen des letzteren unschädlich zu machen. Überdies sind Druckwasserpuffer, ähnlich wie sie sich bei 100 t-Geschützen mit Rücklauf bewährt haben, in Wirksamkeit. Die Bedienung geschieht von den 4 in den beiden Enden der Turmpfeiler befindlichen Wärterstuben aus. — Weil die Hauptwelle bloß rollende Reibung zu überwinden hat, können selbst bei einem Winddruck von 273 kg/qm, der ein Widerstandsmoment von $142 \times 17 = 2414 \text{ tm}$ hervorruft, die Maschinen in 1 Minute die Widerstände der Klappen überwinden; desgleichen erfordert die Aufhebung der lebendigen Kraft am Schlusse der Bewegung geringen Kraftaufwand. — In einem

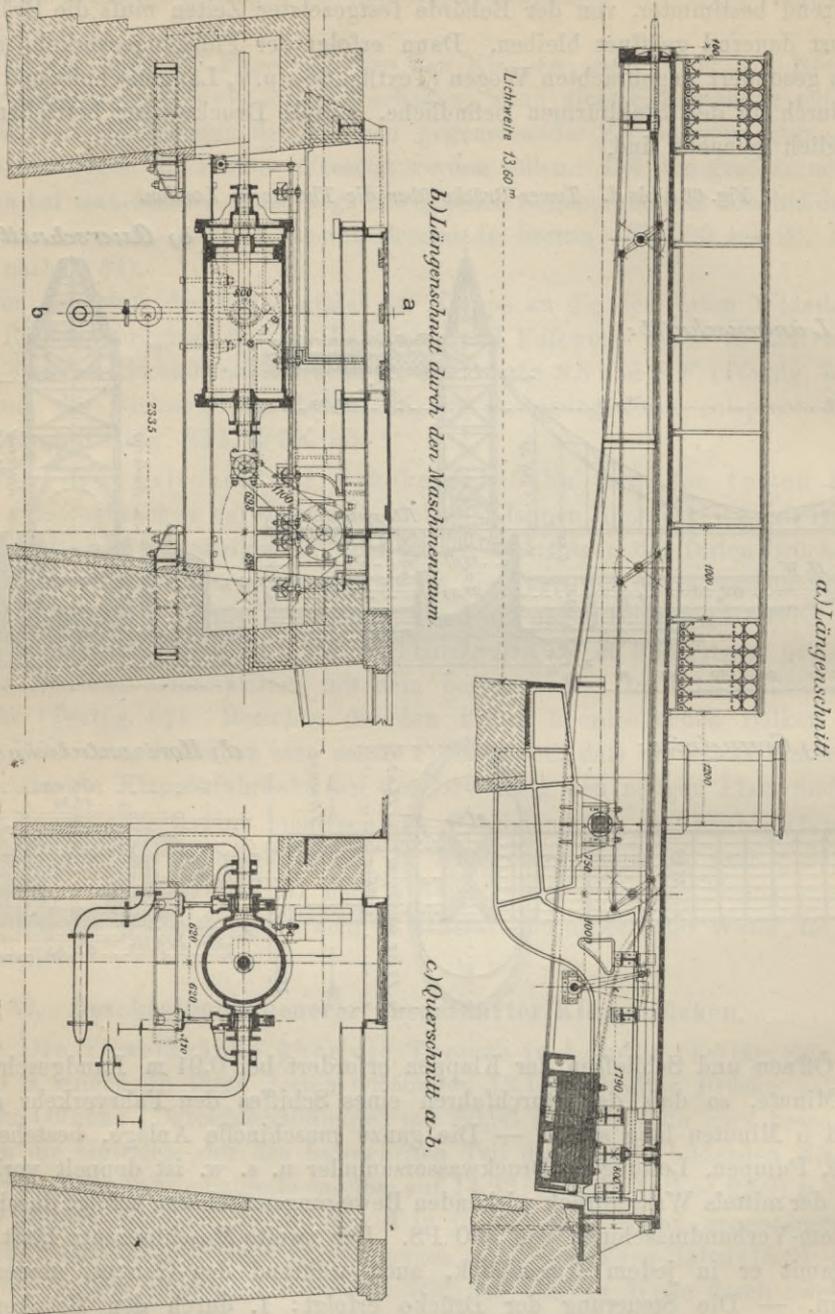


Fig. 67 a bis c. Schubebrug bei Rotterdam. M. 1 : 80.

Gewölbe in der südlichen Zufahrt befinden sich die 4 je 9,14 m langen Dampfkessel von 2,3 m Durchmesser, in einem anderen die Kohlenlager, durch ein Schmalspurgleis mit dem Ufer verbunden; zwei weitere Gewölbe enthalten die Pumpen mit je 2 Hochdruckzylindern von 482 und 2 Niederdruckzylindern von 940 mm Durchmesser und 965 mm Hub. Die Taucherkolben besitzen bei gleichem Hub 197 mm Durchmesser. In einem besonders, an einer Zufahrtsseite gelegenen Gebäude sind die Druckluftsammler von 508 mm Durchmesser und 49 bis 56 Atm. Spannung untergebracht. Von hier aus

führen 2 Leitungen von je 152 mm Durchmesser das Druckwasser zum südlichen Pfeilerturm und von da unter der Fußgängerbrücke zu den Druckwassermaschinen des nördlichen Pfeilerturmes. — Da die Benutzung des Themsewassers nicht gestattet ist, leiten Rohre von 178 mm Lichtweite die Abwasser in das Kraftsammlerhaus zurück.

Die maschinelle Ausrüstung eines Zwischen(Turm-)pfeilers besteht aus zwei völlig getrennten Maschinen in je einem Pfeilerkopf, die in der schon erwähnten Weise die Hauptwelle mittels Zahnbogensegmente in Bewegung setzen, wobei zur Überwindung aller Widerstände bei größtem Winddruck von 273 kg/qm auf den Zahnbogen 190 t übertragen werden müssen. Die in jedem Pfeilerkopf unter der Maschine zur Druckausgleichung aufgestellten Kraftsammler von 559 mm Durchmesser verbindet eine am Boden des kurzen Trägerarmes geführte Leitung miteinander. — Die 4 in jedem Pfeilerkopf angebrachten Personenaufzüge von je $4,27 \times 1,67 = 7,13$ qm Grundfläche und 2,74 m Höhe können in der Stunde 25 Hübe von 33,5 m Höhe betätigen; sie werden mittels Druckwasser und Drahtseilgetrieben bedient.

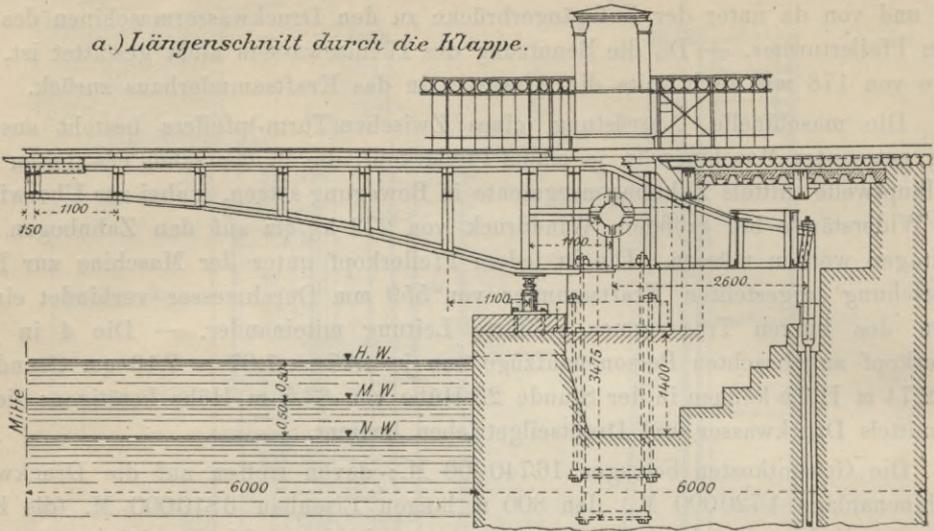
Die Gesamtkosten betragen 16740000 M.; davon treffen auf die Druckwassermaschinenanlage 1720000 M., den 800 m langen Eisenbau 6810000 M. (die Kosten der beweglichen Brückenteile sind nicht ausgeschieden). Die Betriebskosten wurden mit 103371 M. für das Jahr bei 2% Amortisation der Maschinen, einschließlic des Gehaltes für 8 Polizeibeamte eingesetzt. — Die Brücke wurde 1904 dem Verkehr übergeben. Für den Baustoff des Eisenüberbaues war eine Bruchfestigkeit von 4200 bis 4950 kg/qcm bei 20% Dehnung auf 203 mm Länge vorgeschrieben. Näheres siehe Fortschrittsheft S. 58 und Litt. 18 nach § 34.

b) Die Scheluwebrug bei Rotterdam (Textfig. 67). Nach der in Textfig. 67 dargestellten sehr einfachen Anordnung wurden von 1881 bis 1893 in Holland 5 Druckwasserklappbrücken von 13,50 bis 14,00 m Lichtweite, bei 8,45 bis 9,72 Brückenbreite ausgeführt. Die größte hiervon ist in Textfig. 67 dargestellt. — Nach den Mitteilungen des Erbauers L. Doeder arbeitet sie bei rund 100 maligen täglichen Öffnungen mit 15 Atm. Wasserdruck (der auch auf 20 bis 30 Atm. gesteigert werden könnte) ohne jede Betriebsstörung. — Die beiden Klappenarme stützen sich im geschlossenen Zustand nicht im Scheitel, sondern sie lagern auf der Drehwelle, während sich die kurzen Schwanzenden gegen die Unterseite der festen Träger in den Widerlagern stemmen. Die Kosten der 1893 erbauten Scheluwebrug beliefen sich bei 13,62 m Lichtweite und 9,72 m nutzbarer Breite auf 69324 M. (1 M. = 0,60 holl. Gulden), also 525 M. auf das Quadratmeter. — Vergleiche Fortschrittsheft S. 70, Litt. 3; daselbst ist irrtümlich „Dampfkraft“ anstatt „Druckwasser“ als Betriebsmittel angegeben.

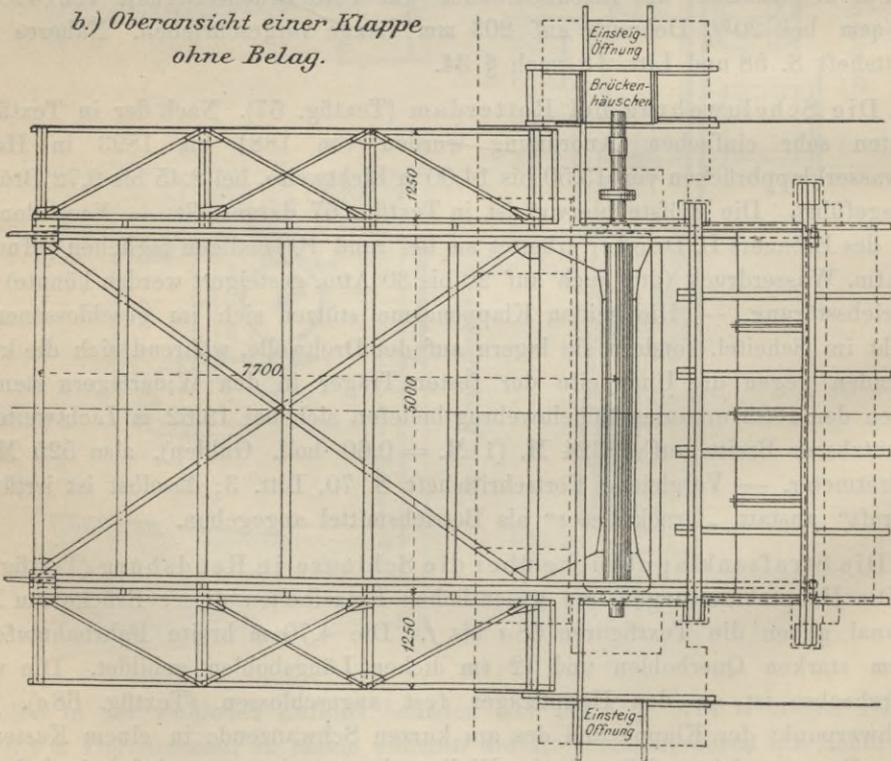
c) Die Strafsenklappbrücke über die Schleuse in Rendsburg (Textfig. 68a bis f). Die Hauptabmessungen und wesentlichen Einzelheiten dieser Brücke am Nord-Ostsee-Kanal geben die Textfiguren 68a bis f. Die 4,70 m breite Fahrbahntafel ist aus 6,5 cm starken Querbohlen und 12 cm dicken Längsbohlen gebildet. Die wagerechte Drehachse ist an den Hauptträger fest angeschlossen (Textfig. 68c). Der Gesamtschwerpunkt der Klappe und des am kurzen Schwanzende in einem Kasten angebrachten Gegengewichtes fällt mit der Wellenachse zusammen, so daß bei windstillem Wetter beim Bewegen der Brücke bloß die Reibungswiderstände zu überwinden bleiben. Der Drehwinkel jeder Klappe beträgt 75° gegen die Wagerechte. — Die geschlossene, durch Verkehrslast nicht belastete Brücke ruht, ebenso wie während des Drehens, auf den Lagern (Textfig. 68e) an den Enden der Drehachse. Kommt Verkehrslast auf

Fig. 68 a bis f. Strafsenklappbrücke über die Schleuse in Rendsburg. Maßstäbe: a u. b = 1 : 100.

a.) Längenschnitt durch die Klappe.



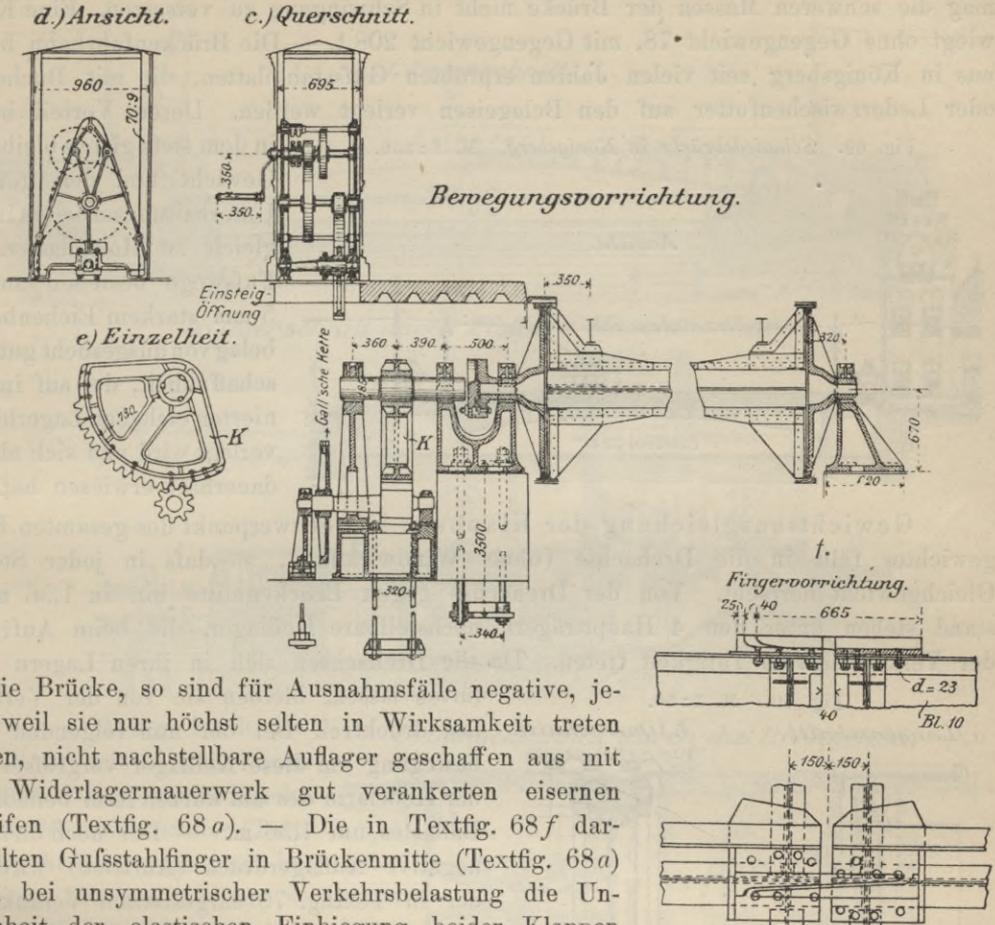
b.) Oberansicht einer Klappe ohne Belag.



die Brücke, so wollen die Klappen sich in Bewegung setzen; dies verhindern jedoch die zwischen Drehachse und Rand der Schleusenmauer befindlichen, durch Keile nachstellbaren Lager, die bereits durch die elastische Einbiegung der langen Klappenarme infolge deren Eigengewichtes etwas Druck erhalten haben. Rückt die Verkehrslast weiter

Fig. 68 c bis f (vergl. Fig. 68 a u. b). Maßstäbe: c bis e = 1 : 60, f = 1 : 30.

Winde:

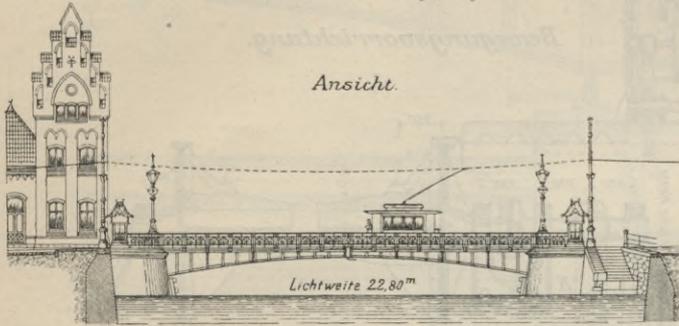


auf die Brücke, so sind für Ausnahmefälle negative, jedoch weil sie nur höchst selten in Wirksamkeit treten dürften, nicht nachstellbare Auflager geschaffen aus mit dem Widerlagermauerwerk gut verankerten eisernen Schleifen (Textfig. 68 a). — Die in Textfig. 68 f dargestellten Gußstahlfinger in Brückenmitte (Textfig. 68 a) sollen bei unsymmetrischer Verkehrsbelastung die Ungleichheit der elastischen Einbiegung beider Klappen möglichst herabmindern. Nach erfolgtem Eingriff dieser Finger müssen beide Klappen gleichzeitig geöffnet, beziehungsweise geschlossen werden. — Der daselbst befindliche 25 mm breite Spalt wird durch Riffelbleche geschlossen. — Bei 0,2 Zapfenreibung und 0,67 Wirkungsgrad des gesamten Rädergetriebes (Textfig. 68 c bis e) sollte ein Arbeiter in 2 Minuten 40 Sekunden eine Klappe öffnen oder schließen können. Tatsächlich leistet dies ein Arbeiter bequem in 2 Minuten. Bei 50 kg/qm Winddruck benötigen 2 Arbeiter mit je 15 kg Leistung an der Kurbel 3 Minuten; natürlich erfolgt bei gleichbleibender Arbeitsleistung das Öffnen zuerst schnell und dann langsamer. — Das Gegengewicht läßt sich dem Feuchtigkeitsgrad der Fahrbahntafel entsprechend ändern. — Im Betrieb hat sich die Brücke gut bewährt. Deren Kosten betragen mit Bewegungsvorrichtung und Bohlenbelag der Brückentafel rund 42000 M. Näheres Litt. 34 nach § 34.

d) Die Schmiedebrücke in Königsberg (Textfig. 69 u. 70). Sie ist als vierte ihrer Art genau nach dem Muster der in langjährigem Betrieb bewährten Kötterbrücke (Litt. 15 nach § 34) 1896 erbaut worden und zeichnet sich durch ihre Größenverhältnisse aus (größte Klappbrücke am europäischen Festland). Die Brückenbreite beträgt 12,5 m, hiervon entfallen 2 · 2,5 = 5,0 m auf die Fuß- und 7,5 auf den Fahrweg. Der Drehachsenabstand mißt 28,3 m. — Die wegen der geringen Höhe der 4 Hauptträger (an der Spitze

0,55, über Drehachse 1,64 m) befürchteten Schwankungen infolge der großen Durchbiegungen unter der Verkehrslast traten nicht auf; selbst marschierende Infanterie vermag die schweren Massen der Brücke nicht in Schwingung zu versetzen. Eine Klappe wiegt ohne Gegengewicht 78, mit Gegengewicht 208 t. — Die Brückenfahrbahn besteht aus in Königsberg seit vielen Jahren erprobten Gufstahlplatten, die mit Buchenholz oder Lederzwischenfutter auf den Belageisen verlegt werden. Deren Vorteil besteht

Fig. 69. Schmiedebrücke in Königsberg. M. 1 : 500.

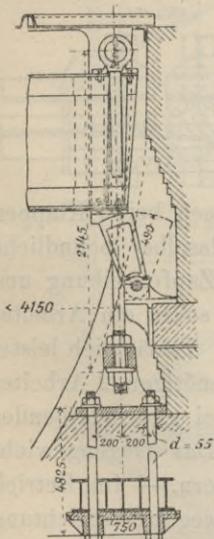


in dem stets gleich bleibenden Gewicht und den geringen Unterhaltungsarbeiten im Vergleich zu Holzpflaster. Die Fußwege bestehen aus nur 5 mm starkem Eichenbohlenbelag von ausgesucht guter Beschaffenheit, der auf imprägnierten eichenen Lagerhölzern verlegt wird und sich als sehr dauerhaft erwiesen hat.

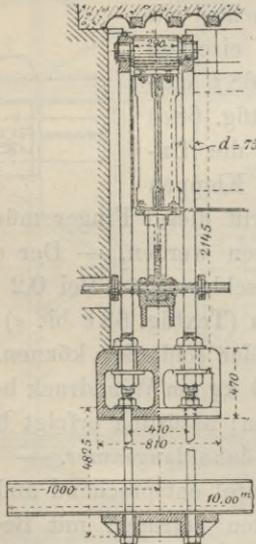
Gewichtsausgleichung der Klappen. Der Schwerpunkt des gesamten Eigengewichtes fällt in die Drehachse (ohne Windwirkung), so daß in jeder Stellung Gleichgewicht herrscht. Von der Drehachse gegen Brückenmitte hin in 1,56 m Abstand stehen unter den 4 Hauptträgern nachstellbare Keillager, die beim Aufrücken der Verkehrslast in Tätigkeit treten. Da die Drehachsen sich in ihren Lagern etwas

Fig. 70. M. 1 : 50.

a.) Längenschnitt.



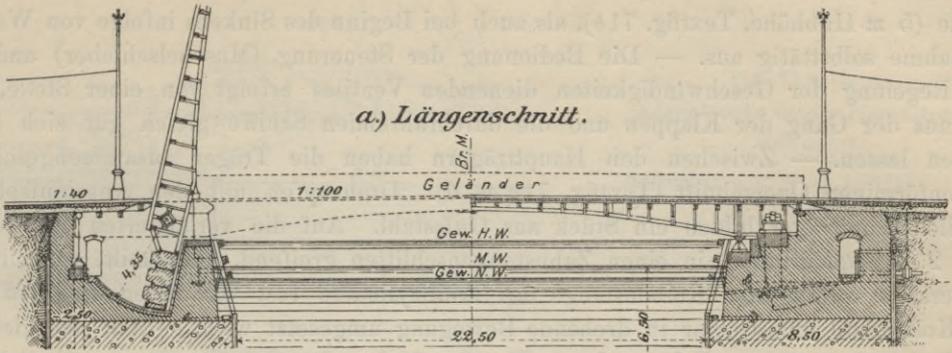
b.) Querschnitt



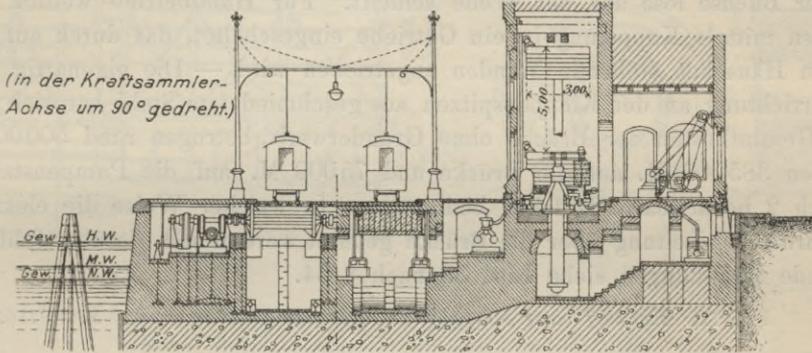
lüften lassen, bleiben sie von der Verkehrslast druckfrei. Bei der nun folgenden Kippbewegung um diese Keillager vergrößert sich der Hebelarm des am kurzen Arm befindlichen Ballastes um 1,56 m. — Der noch bleibende negative Auflagerdruck (Auftrieb) wird von der in Textfig. 70 dargestellten Verankerung aufgenommen, die auch noch stark genug wäre, dem beim Kippen um die Drehachse infolge fehlerhafter Einstellung der Keillager auftretenden Auftrieb das Gleichgewicht zu halten. Gleichzeitig zeigt diese Textfigur die Feststellung der Klappenhinterarme bei geschlossener Brücke mittels exzentrisch geformter Pendel. — Die Anordnung der Gegengewichte aus Gufseisen in Kästen je zwischen zwei Hinterarmhauptträgern ist aus Textfig. 71 a ersichtlich.

Bewegungsrichtung (Textfig. 71 b bis d). Hierfür ist sowohl Druckwasser als Handbetrieb vorgesehen. Im ersten Fall erfordert das Öffnen 25, das Schließen 35 Sekunden, im zweiten Fall etwa 8 Minuten. Durch Oberlicht werden die Arbeitsräume in den Pfeilervorköpfen (Textfig. 71 b) gut erhellt. — Bei Annahme eines Reibungskoeffizienten von 0,2 ergab sich ohne Windwirkung zur Bewegung jeder Klappe eine erforderliche Arbeitsleistung von 5 mt, bei 20 kg/qm Winddruck 30 mt. Diese größte Arbeit wird mit Druckwasser von 40 Atm. durch 2 Treibzylinder für jede Klappe (Textfig. 71 c u. d)

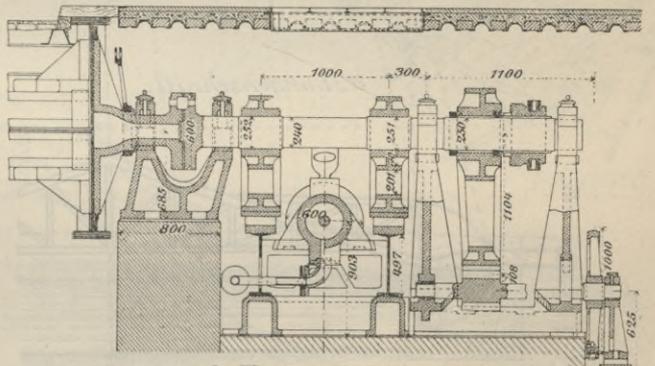
Fig. 71 a bis d (vergl. Fig. 69, S. 72). Maßstäbe: a = 1 : 360, b = 1 : 400, c u. d = 1 : 55.



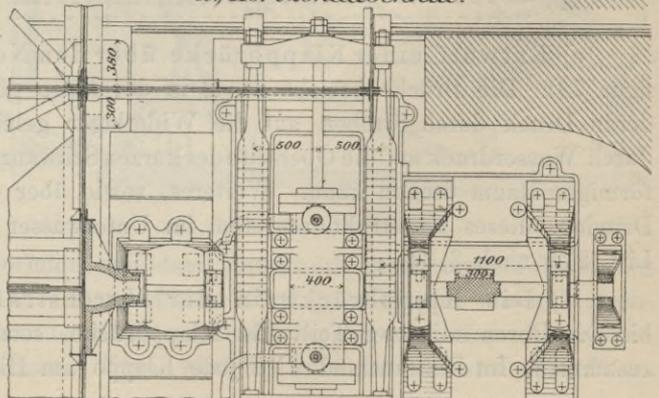
b.) Querschnitt durch Pfeiler u. Maschinenhaus.



c.) Längenschnitt durch die Drehachse.



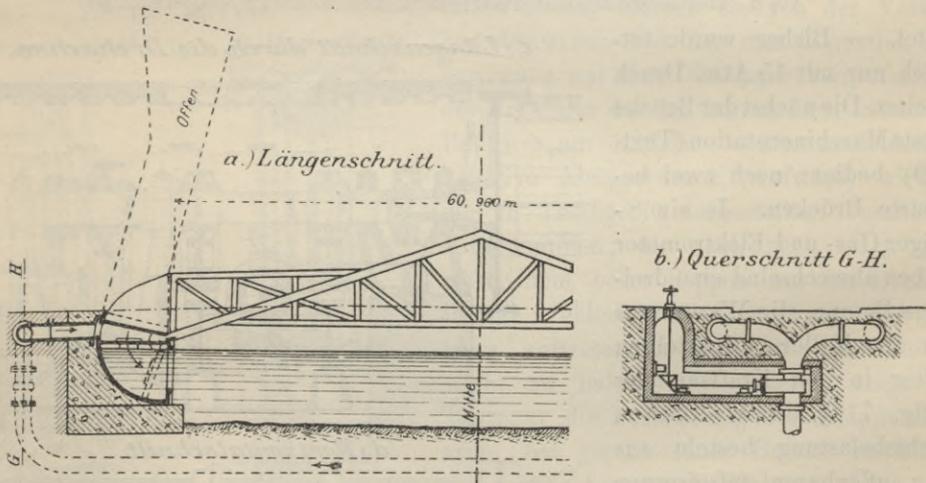
d.) Horizontalschnitt.



geleistet. — Bisher wurde tatsächlich nur mit 15 Atm. Druck gearbeitet. Die nächst der Brücke stehende Maschinenstation (Textfig. 69) bedient noch zwei benachbarte Brücken. Je ein 8-pferdiger Gas- und Elektromotor betreiben abwechselnd eine dreistufige Pumpe, die Wasser aus einem im Keller aufgestellten Behälter in den Kraftsammler (Textfig. 71 b) drückt; dessen Gewichtsbelastung besteht aus einzeln auflegbaren gußeisernen Ringen bis zu 48 t Gesamtgewicht. Von dem Kraftsammler wird das Druckwasser nach den im nächstgelegenen Pfeilervorkopf gelegenen Steuerzylindern geleitet. Weil das verbrauchte Wasser nach dem bereits erwähnten Behälter zurückgeführt wird, kann im Winter dem Betriebswasser Glycerin als Schutz gegen die Frostwirkung

zugesetzt werden. Der Kraftsammler schaltet sowohl nach seiner Ankunft in die höchste Stelle (5 m Hubhöhe, Textfig. 71b), als auch bei Beginn des Sinkens infolge von Wasserentnahme selbsttätig aus. — Die Bedienung der Steuerung (Muschelschieber) und des zur Regelung der Geschwindigkeiten dienenden Ventiles erfolgt von einer Stelle, von der aus der Gang der Klappen und die durchfahrenden Schiffe gleich gut sich beobachten lassen. — Zwischen den Hauptträgern haben die Träger zusammengesetzten, kastenförmigen Querschnitt (Textfig. 71c u. d). Drehzapfen mit den Anschlußplatten an die Hauptträger bilden ein Stück aus Gußstahl. Auf die verlängerten Drehachsen sind 2 Zahnquadranten, in einen Zahnstangenschlitten greifend, aufgekeilt, die mit der beiderseits verlängerten Kolbenstange des Treibzylinders fest verbunden sind, so daß der Kolbenhub unmittelbar in drehende Bewegung umgesetzt wird. — Auf der gleichen Welle ist ein größerer Zahnquadrant (Textfig. 71c) aufgesetzt, der für gewöhnlich mit metallener Büchse lose auf der Welle schleift. Für Handbetrieb werden diese Zahnquadranten mittels Kuppelung in ein Getriebe eingeschaltet, das durch auf den Pfeilerköpfen in Häuschen stehende Winden angetrieben wird. — Die eigenartig ausgestaltete Fingervorrichtung an den Klappenspitzen aus geschmiedetem Stahl hat sich gut bewährt. — Die Gesamtkosten der Brücke ohne Grunderwerb betragen rund 500000 M.; hiervon treffen 385000 M. auf die Brücke und 75000 M. auf die Pumpenstation (die jedoch noch 2 benachbarte Brücken bedient). — In welcher Weise die elektrische Bahn mit oberirdischer Leitung über die Brücke geleitet werden soll, darüber fehlen Angaben. Eingehende Mitteilungen siehe Litt. 33 nach § 34.

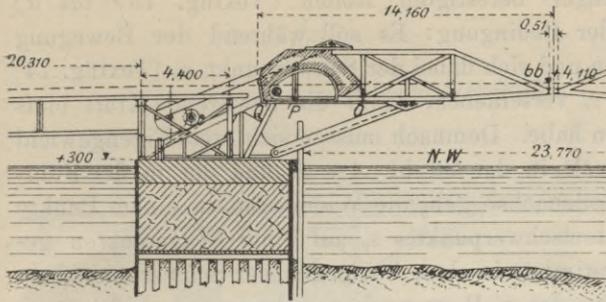
Fig. 72. Entwurf einer Klappbrücke über den Newton Creek. M. 1 : 750.



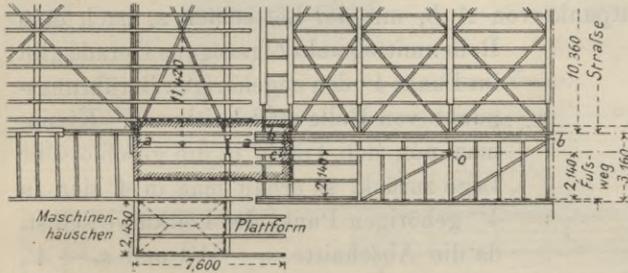
e) Entwurf einer Klappbrücke über den Newton Creek von Steiner (Textfigur 72). Die Brücke besteht aus 2 in der Mitte gegeneinander stehende Klappen, deren Druck durch Streben auf die Widerlager geleitet wird. Die Bewegung erfolgt durch Wasserdruck auf die Oberseite des kurzen Schwanzendes, das sich in einem viertelkreisförmigen Raum drehen kann. Weiteres, sowie über einen Vorschlag M. Foerster's in Dresden, dieses Konstruktionssystem im Unterwasser einer Schleuse anzuwenden, siehe Litt. 27b nach § 34.

f) Die Klappbrücke in der Huronstrafse zu Milwaukee (Textfig. 73a bis e). Deren mittlerer Teil, die Klappbrücke, setzt sich aus zwei gleichen Hälften zusammen. Im Ruhezustand wird jede Klappe am Hinterende durch 2×2 Rollen ge-

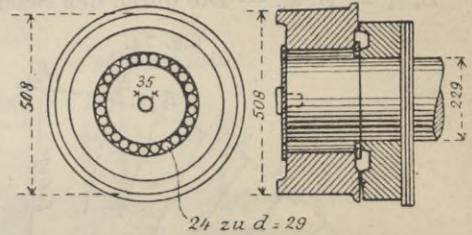
a.) Längenschnitt.



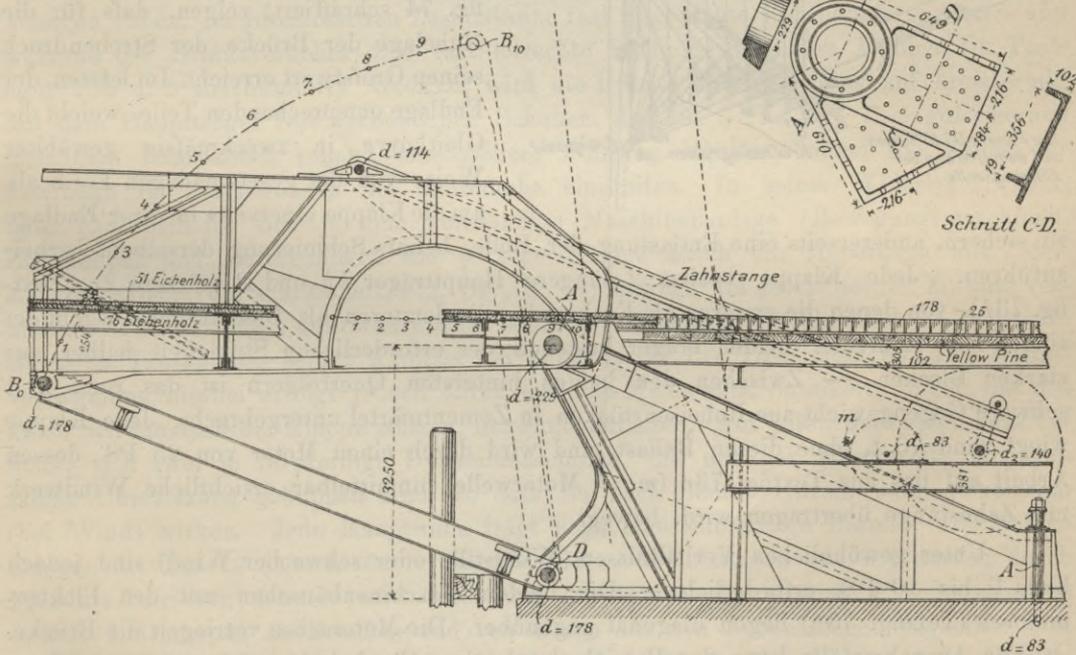
b.) Grundriss.



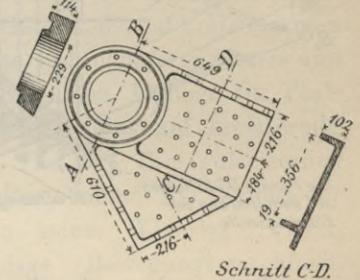
c.) Rolle A.



c.) Anschluss der Klappbrücke an den festen Brückenteil.



d.) Drehzapfenlagerung
Schnitt A-B.



Schnitt C-D.

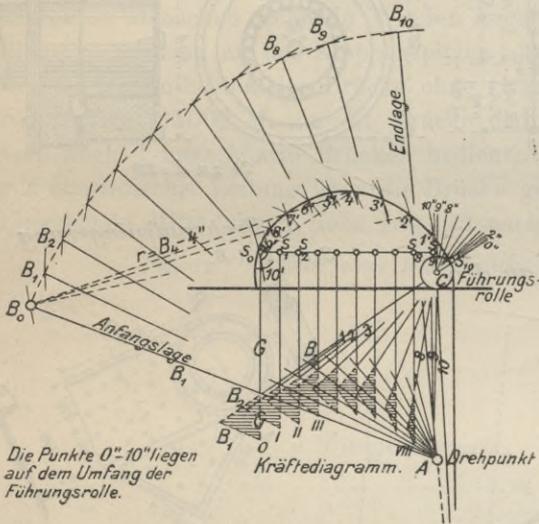
stützt, die in festen dreieckig geformten, mit dem Mauerwerk verankerten Stützträgern (Textfig. 73 c) lagern. Beiläufig in Untergurtmitte wird jede Klappe durch 2 Drehstreben $B_0 D$ (Textfig. 73 c) gestützt, deren untere Drehachsenlager mit dem dreieckigen Stützträger fest verbunden sind. Beim Öffnen wird der von der Drehstrebe $B_0 D$ ge-

Fig. 73 a bis e.
Klappbrücke in der Huronstrafse
(Milwaukee).

Mafsstäbe: a u. b = 1 : 375.
c = 1 : 100.
d = 1 : 33.
e = 1 : 20.

führte Hauptträger zwangsläufig in einer Leitkurve geführt, die im Inneren des letzten Trägerfeldes und auf den am Stützlager befestigten Rollen (Textfig. 73 c bis d) gleitet. Die Kurvenform entspringt der Bedingung: Es soll während der Bewegung der Klappe stets Gleichgewicht herrschen und sich dabei der Schwerpunkt s_0 (Textfig. 74) längs einer wagerechten Geraden $s_0 - s_8$ verschieben, damit die bewegende Kraft blofs die Reibungswiderstände zu überwinden habe. Demnach müssen sich stets Eigengewicht der beweglichen Konstruktion, der Druck in der Strebe $A - B$ und der in der Führungsrolle C hervorgerufene, durch die Rollenachse gehende Widerstand in einem Punkte schneiden. Ist die Bewegung des Systemschwerpunktes s_0 auf einer Wagerechten gesichert, so ist damit auch der Punkt bestimmt, in dem bei gegebener Schwerpunktslage die Gleitkurve die Rolle berühren muß. Ist z. B. s_0 nach s_4 gekommen, so folgt aus der Unveränderlichkeit des Drehpunktes A die Lage des Punktes B_4 aus der Beziehung: $B_4 s_4 = B_0 s_0$. — Die durch den Schnittpunkt von $A B_4$ mit der Lotrechten s_4 nach dem

Fig. 74.



Die Punkte $0''-10''$ liegen auf dem Umfang der Führungsrolle.

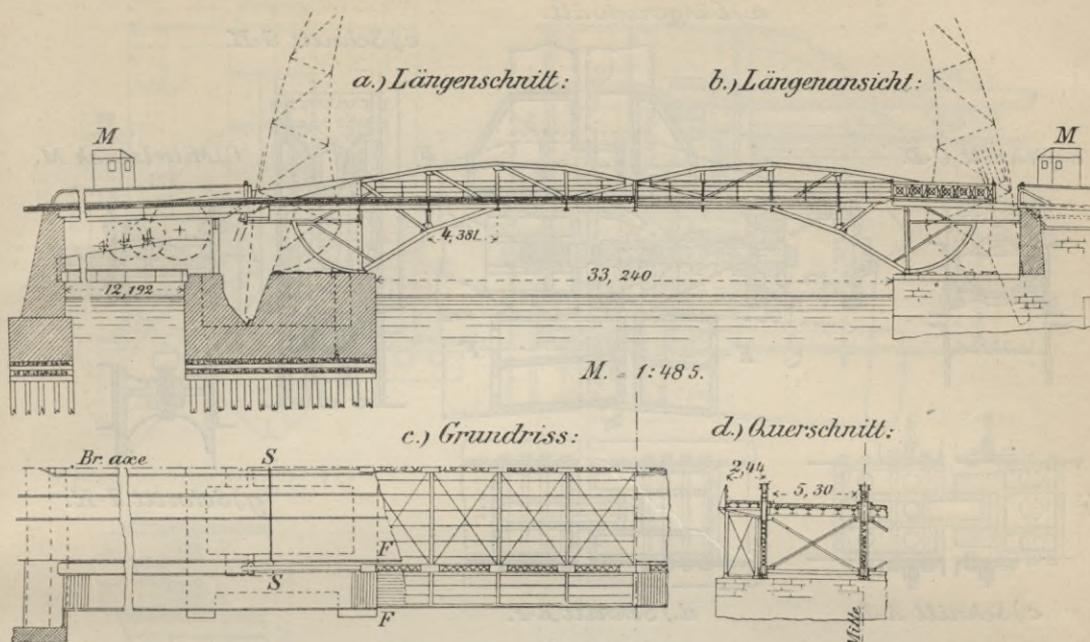
Kräftepolygon

zu sichern, andererseits eine Entlastung der Rolle, behufs Schmierung derselben, herbeizuführen. Jede Klappe besitzt 2 längere Hauptträger bb und 2 kürzere cc (Textfig. 73 b), von denen die ersteren als Fachwerk-, die letzteren als Blechträger ausgebildet sind. Die Endfelder beider Träger bestehen der erforderlichen Steifigkeit halber aus starken Blechen. — Zwischen den beiden hintersten Querträgern ist das rund 45 t schwere Gegengewicht aus Roheisenstücken in Zementmörtel untergebracht. Jede Klappe wiegt rund 70 t, ohne diesen Ballast, und wird durch einen Motor von 25 PS., dessen Arbeit auf das aus Textfig. 73 c ($m =$ Motorwelle) unmittelbar ersichtliche Windwerk mit Zahnstange übertragen wird, bewegt.

Unter gewöhnlichen Verhältnissen (Windstille oder schwacher Wind) sind jedoch blofs 9 bis 10 PS. erforderlich. — Die beiden Maschinenhäuschen mit den Elektromotoren (Textfig. 73 b) liegen diagonal gegenüber. Die Motorachse verriegelt die Brücke. — Für Ausnahmefälle kann der Betrieb durch eine Handwinde erfolgen. Zum Öffnen oder Schließen werden blofs 25 Sekunden benötigt. — Gewicht des beweglichen Teiles einer Klappe: 102,3 t; Gegengewicht: 45,4 t. — Entwurf von M. G. Schinke. Siehe Litt. 28 nach § 34.

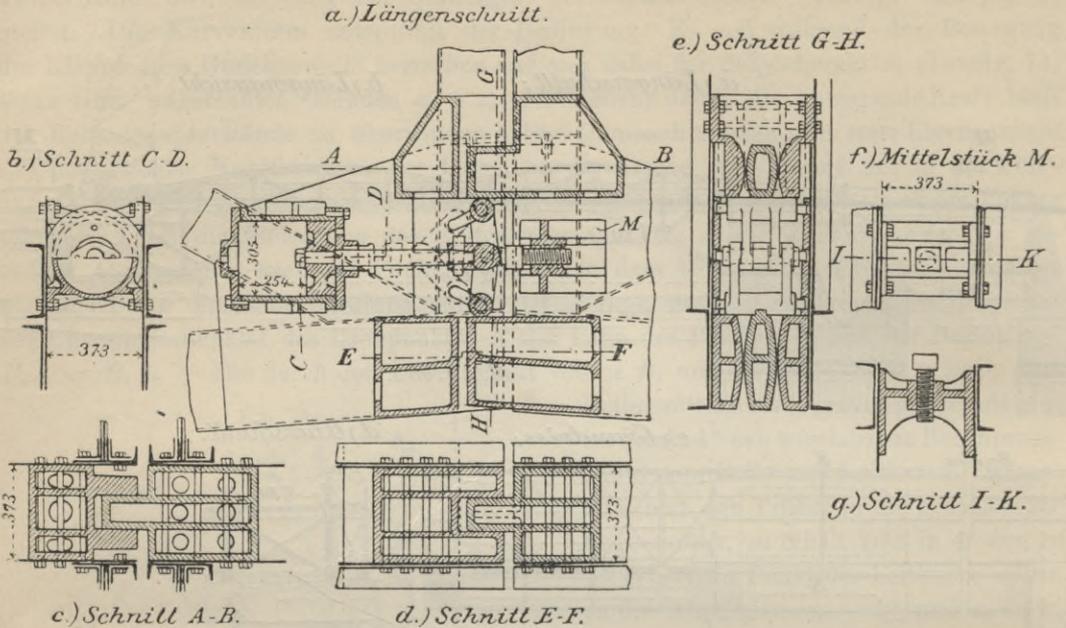
Rollenmittelpunkt C gezogene Gerade gibt im Punkt $4''$ den zugehörigen Berührungspunkt von Rolle und Leitkurve. Klappt man nun den Träger in die geschlossene Lage zurück, so erhält man in $4'$ den zu $4''$ gehörigen Punkt der Leitkurve selbst, da die Abschnitte $s_4 - 4''$ und $s_0 - 4'$, sowie $B_4 - 4''$ und $B_0 - 4'$ gleich sein müssen. Die für alle Lagen der Drehstreben gebildeten Kräfte dreiecke (in Textfig. 74 schraffiert) zeigen, daß für die Ruhelage der Brücke der Strebendruck seinen Größtwert erreicht. Im letzten, der Endlage entsprechenden Teile, weicht die Gleitkurve in zweckmäßiger gewählter Weise von der gesetzmäßigen Form ab, um die Klappe einerseits in ihrer Endlage

Fig. 75 a bis d. Rollklappbrücke in der Van Buren-Straße zu Chicago.



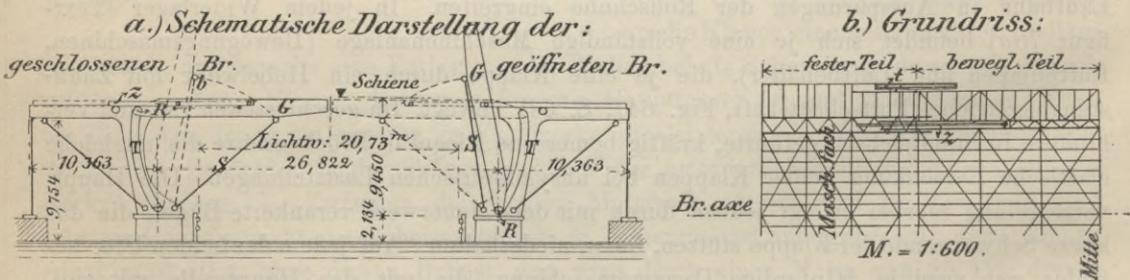
g) Die Rollklappbrücke in der Van Buren-Straße in Chicago (Textfig. 75) besteht aus zwei voneinander vollständig unabhängigen Hälften, die auf kreisförmigen Wangen ruhen, im geschlossenen Zustand eine fast wagerechte Fahrbahntafel bieten und während des Schiffsverkehrs eine fast lotrechte Stellung annehmen können (in Textfigur 75a u. b strichliniert). Geöffnet wird die Brücke durch Drehung auf kreisförmig mit dem Hauptträger fest verbundenen Schuhen, die auf 3 (Textfig. 75c) gußeisernen gezahnten Laufbahnen rollend eine sichere Führung erhalten, indem die Zähne der Laufbahn in Aussparungen der Rollschuhe eingreifen. In jedem Widerlager (Textfigur 75a) befindet sich je eine vollständige Maschinenanlage (Bewegungsmaschinen, Luftpumpen und Luftbehälter), die je eine Klappe durch ein Hebelwerk mit Zahnstangengetriebe (Fortschrittsheft, Fig. 64f, S. 64) bewegt. Im geschlossenen Zustand verhindern in Stahlbüchsen geführte, kräftig bemessene Riegel in Brückenmitte die ungleiche elastische Einsenkung beider Klappen bei unsymmetrischen Laststellungen. Die Hauptverriegelung hierbei erfolgt jedoch durch mit dem Mauerwerk verankerte Bügel, die das kurze Schwanzende der Klappe stützen, bezw. niederhalten. Auf jedem der beiden Ufer befinden sich zwei je 50 pferdige Dynamomaschinen, die mit der Hauptwelle mit vielfacher Übersetzung gekuppelt sind, so daß sie nach Bedarf einzeln oder gemeinsam (bei Wind) wirken. Jede Hauptwelle trägt noch eine selbsttätige Bremse. Die Nebenanlagen der Brücke (Abschlußstore, Signale, Bremsvorrichtungen u. s. w.) werden durch Prefsluft betrieben; letztere wird durch auf der Hauptwelle sitzende Exzentrerscheiben mittels Luftpumpen in Behälter und von diesen aus den Nebenanlagen zugeleitet. Am Ende jeder Zufahrt befindet sich das Maschinenhaus M (Textfig. 75a u. b), in das alle Kabel und Luftleitungen einmünden. — Die Kosten der 74 m langen und 18 m breiten Brücke sind sehr hoch; sie betragen 712740 M. (1 Doll. = 4,20 M.) M. Scherzer, der Erfinder dieses Systems, starb wenige Monate nach erfolgter Patenterteilung. — Nähere Angaben siehe Fortschrittsheft S. 63, sowie Litt. 22 nach § 34.

Fig. 76 a bis g. Scheitelschluss der Nord Halsted-Klappbrücke mit Prefsluftzylinder. M. 1: 30.



h) Die Nord Halsted-Klappbrücke in Chicago (Textfig. 76) beruht auf dem gleichen Konstruktionsgedanken wie die eben geschilderte Klappbrücke. Von den ihr eigenartigen, mittels Prefsluft betriebenen Nebeneinrichtungen: der Bremsen, Schutzgitter, Verriegelungen u. s. w. zeigt Textfig. 76 insbesondere die Einzelheiten der Verriegelung beider Klappen im Scheitel, auf deren Ausgestaltung wegen der großen Stützweite von 35,2 m besondere Sorgfalt verwendet wurde.

Fig. 77 a u. b. Fallbrücke in der 16. StraÙe in Milwaukee. M. 1: 600.



i) Die Klappbrücke in der 16. StraÙe in Milwaukee (Textfig. 77) besteht ebenfalls aus 2 voneinander unabhängigen Hälften, deren jede aus dem Hauptträger G, der die Fahrbahntafel trägt, den Streben S, welche erstere stützen und den mit den Hauptträgern unverschieblich verbundenen Rollen R, die letzteren eine zweite Stützung bieten, indem sie dieselben in der festen Bahn T zwangläufig führen. — Die Bahn T ist derartig gekrümmt, daß sich beim Öffnen der Schwerpunkt des beweglichen Brückenteiles von Brückenmitte gegen Ufer zu in wagerechter Bahn verschiebt, wobei die durch die Rolle R gehende, aus dem Brückengewicht und der Strebenkraft S sich ergebende Gesamtkraft senkrecht auf das zugeordnete Kurvenelement der Leitbahn steht, so daß stets Gleichgewicht des beweglichen Teiles besteht und keinerlei tote Last zu heben

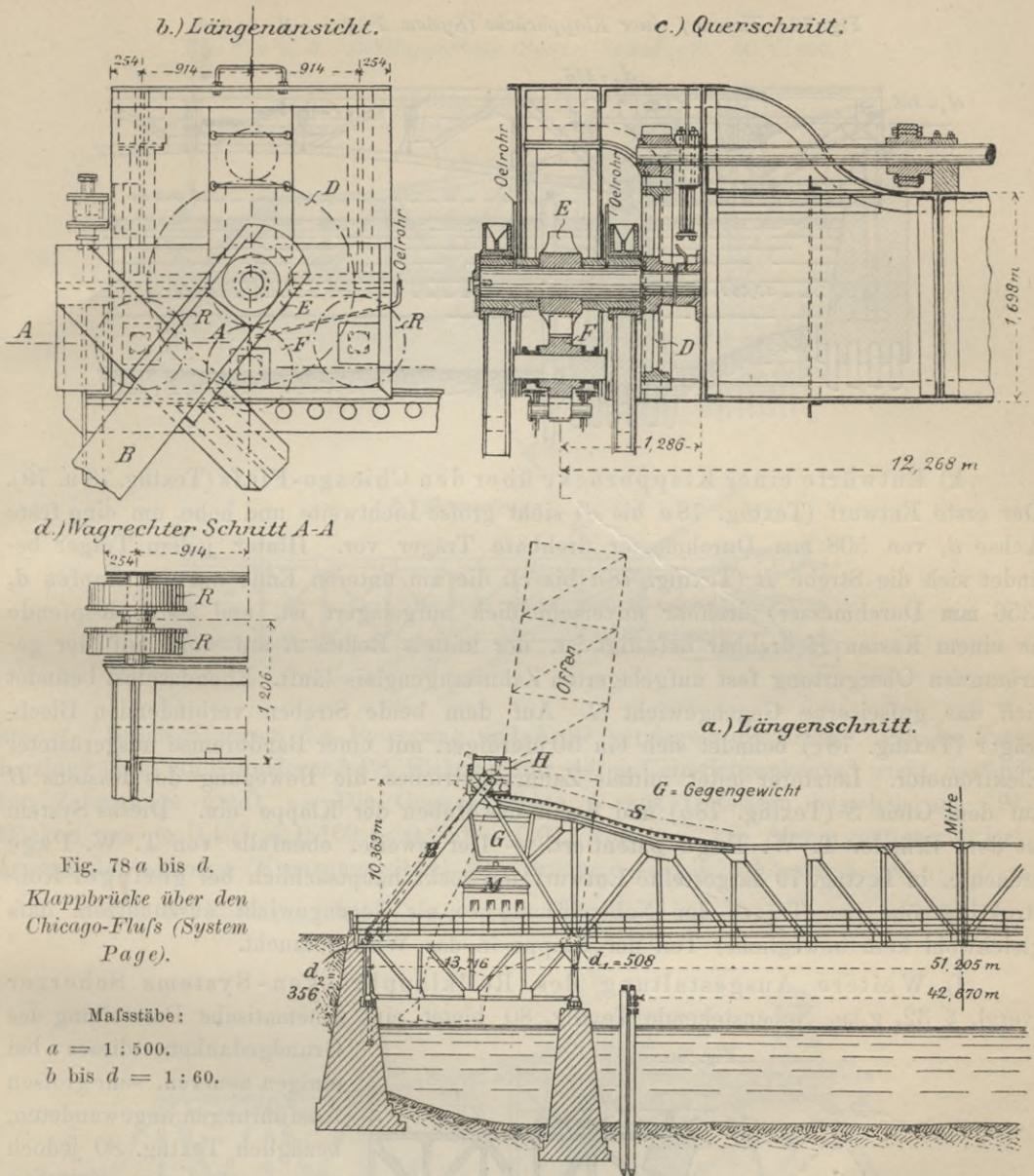


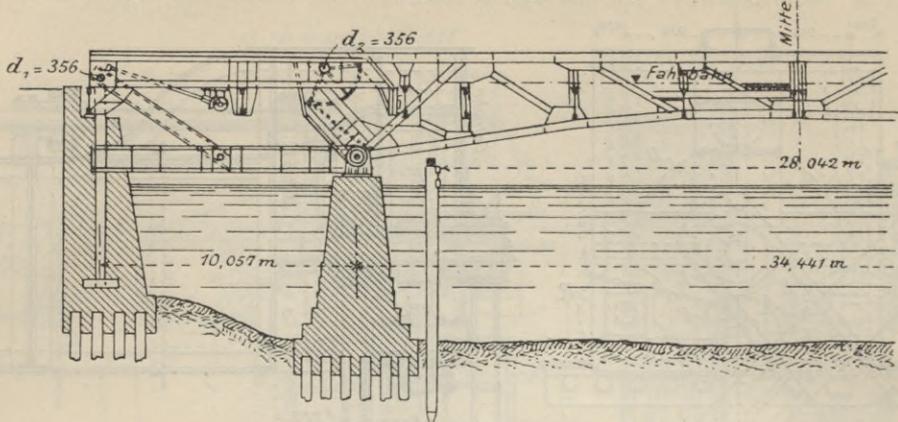
Fig. 78 a bis d.
 Klappbrücke über den
 Chicago-Fluss (System
 Page).

Mafsstäbe:

- $a = 1 : 500.$
- b bis $d = 1 : 60.$

ist, mithin die Maschine nur die Reibungswiderstände überwinden mufs. — Die Bewegung erfolgt mittels Zahnstangen z und Zahnräder, wobei den Antrieb eine Dynamomaschine leistet. Für den Notfall ist auch Handantrieb vorgesehen. Um beim Schliesen der Brücke die Stofswirkungen abzumildern, im Falle eine Maschine nicht rechtzeitig abgestellt würde, ist mit dem Zahngestänge eine starke Spiralfeder derartig verbunden, dafs sie bei geschlossener Brücke gespannt ist, wodurch die überschüssige Kraft des Motors aufgesaugt wird. — Das Gewicht der beweglichen Teile jeder Klappe beträgt 60 t. — Unter gewöhnlichen Umständen erfordert die Bewegung $20 \times 414 = 8280$ Ampères-Volt oder rund $\frac{8280}{739} = 11$ PS. bei 15 Sekunden Öffnungs- und 20 Sekunden Schließungszeit. Erbauer: Schinke. Gesamte Baukosten: 176400 M. Siehe auch Fortschrittsheft S. 65, sowie Litt. 26 nach § 34.

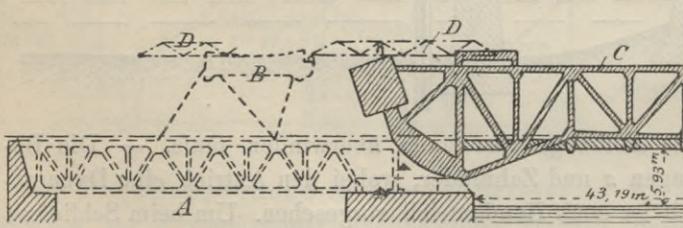
Fig. 79. Entwurf einer Klappbrücke (System Page). M. 1:300.



k) Entwürfe einer Klappbrücke über den Chicago-Fluss (Textfig. 78 u. 79). Der erste Entwurf (Textfig. 78 a bis d) sieht große Lichtweite und hohe, um eine feste Achse d_1 von 508 mm Durchmesser drehbare Träger vor. Hinter jedem Träger befindet sich die Strebe B (Textfig. 78 a bis c), die am unteren Ende um den Zapfen d_2 (356 mm Durchmesser) drehbar unverschieblich aufgelagert ist, und deren Kopfende an einem Kasten H drehbar befestigt ist, der mittels Rollen R auf dem auf der gekrümmten Obergurtung fest aufgelagerten Zahnstangengleis läuft. Ebendasselbst befindet sich das gußeiserne Gegengewicht G . Auf dem beide Streben verbindenden Blechträger (Textfig. 78 c) befindet sich ein 50 pferdiger, mit einer Bandbremse ausgerüsteter Elektromotor. Letzterer leitet mittels Zahnradgetriebes die Bewegung des Kastens H auf dem Gleis S (Textfig. 78 a) und damit das Heben der Klappe ein. Dieses System ist dem Erfinder T. W. Page patentiert. — Der zweite, ebenfalls von T. W. Page erdachte, in Textfig. 79 dargestellte Entwurf bezweckt hauptsächlich bei geringer Konstruktionshöhe den Träger der Nebenöffnung so als Gegengewicht auszunutzen, daß gleichwohl kein beweglicher Teil der Klappe in das Wasser taucht.

l) Weitere Ausgestaltung des Rollklappbrücken-Systems Scherzer (vergl. § 32, g.). Nebenstehende Textfig. 80 bietet eine schematische Darstellung des Grundgedankens dieses bei

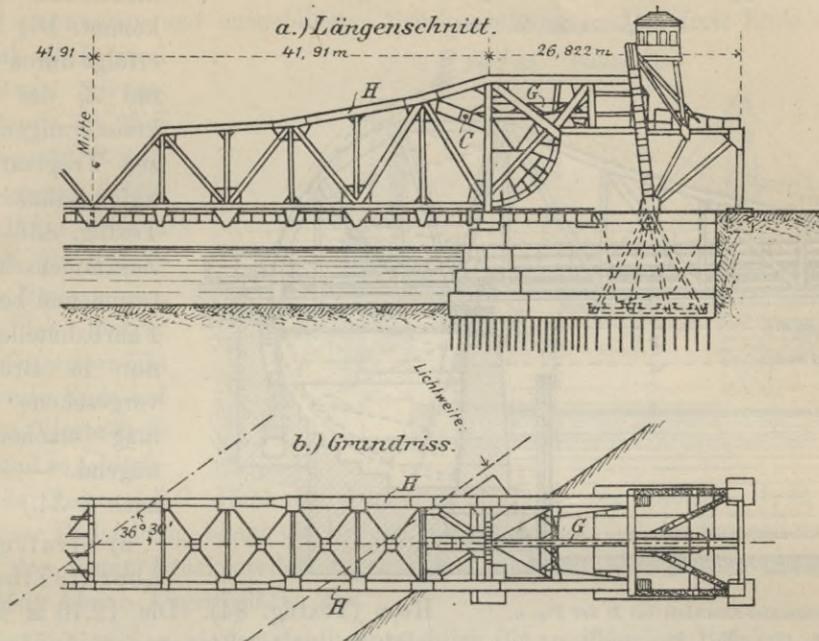
Fig. 80.



einigen neueren, sehr großen Ausführungen angewendeten, bezüglich Textfig. 80 jedoch etwas geänderten Systems. — Auf den beweglichen Teil C (schraffiert) wirkt das Fachwerk D als mächtiger Hebel und öffnet oder schließt die Brücke, indem letzterer auf wagerechter, fester Führung B durch einen Motor mittels entsprechenden Zahnstangengetriebes hin- und hergezogen wird. Anwendungen dieses Systems:

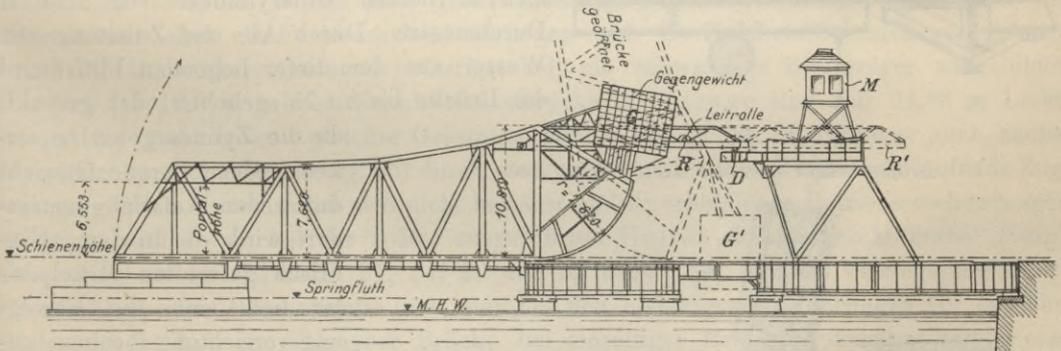
α . Eisenbahn-Rollklappbrücke in Boston (Textfig. 82). Der die Brücke bewegende, als Fachwerk ausgebildete Hebel R ist 18,29 m lang und 1,52 m hoch und vermag 57 t Zug oder Druck auszuüben. Durch Führungsrollen in einem Leitträger auf Laufrollen geführt, wird er durch eine von einem 50 pferdigen Elektromotor angetriebene Zahnstange bei ruhigem Wetter in 30, bei stürmischem Wetter in 90 Sek.

Fig. 81 a u. b. Rollklappbrücke (System Scherzer). M. 1 : 800.



bewegt. Bremsen regeln die Bewegung und Keile verriegeln die Brücke. Für die Verriegelung dient ein besonderer 5 PS. Elektromotor, der auf ein Schneckenrad wirkt, das auf eine Zahnstange greift. — Die Gegengewichte *G* aus Gußeisen bestehen aus 621 Blöcken von je $0,457 \times 0,102 \times 0,250 = 0,012$ cbm. — Ein Mann genügt zur Bedienung der schiefen (Kreuzungswinkel 42°) Brücke. — (Litt. 35 nach § 34.)

Fig. 82. Eisenbahn-Rollklappbrücke in Boston (System Scherzer). M. 1 : 640.



β. Eine zweite, noch schieferer Eisenbahn-Rollklappbrücke über den Chicago-Fluss zeigt Textfig. 81. Hier können zwei nebeneinander befindliche 2gleisige Bahnbrücken einzeln oder gleichzeitig geöffnet oder geschlossen werden. Im übrigen gleicht die Brücke der in Litt. 35 nach § 34 beschriebenen Brücke. (Näheres siehe Litt. 36 nach § 34.)

m) Entwurf einer Straßensklappbrücke über den Chicago-Fluss nach System Ericson (Textfig. 83a u. b). Hier ist eine feste Drehachse bei derartiger Gewichtsverteilung der Hauptträger vorgesehen, daß der Gesamtschwerpunkt zwischen

Fig. 83 a u. b.

Entwurf einer Klappbrücke über den Chicago-Fluss (System Ericson).

a. Längenschnitt. M. 1:333.

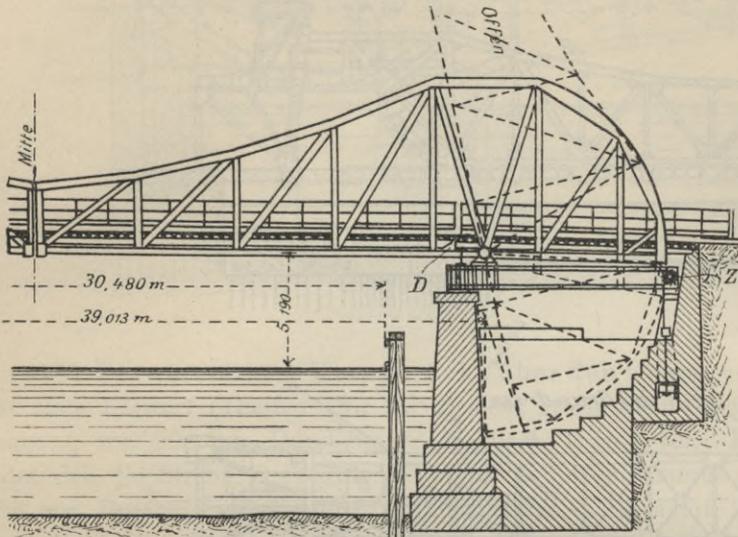
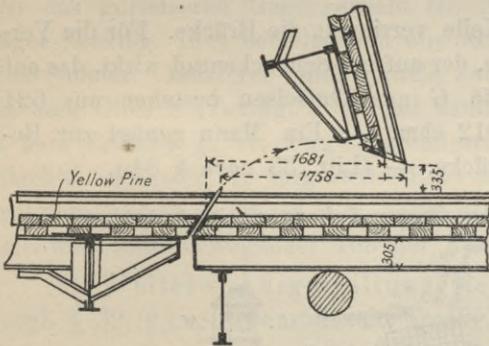
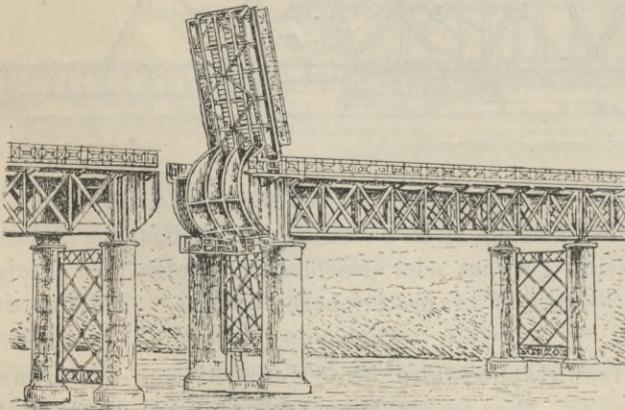
b. Fahrbahn Tafel-Anschluss bei D der Fig. a.
M. 1:72.

Fig. 84.

Straßenbrücke über die Tiber nächst Rom.



Drehachse und Ufermauerrand zu liegen kommt. Die Bewegung erfolgt durch das Zahnrad Z, das in einen kreisförmigen, am kurzen Trägerarm befestigten Zahnkranz greift. Textfig. 83b zeigt den Zusammenschluss der festen und beweglichen Fahrbahnteile. — Die nur in Brückenmitte vorgesehene Verriegelung erscheint ungenügend. — (Litt. 39 nach § 34.)

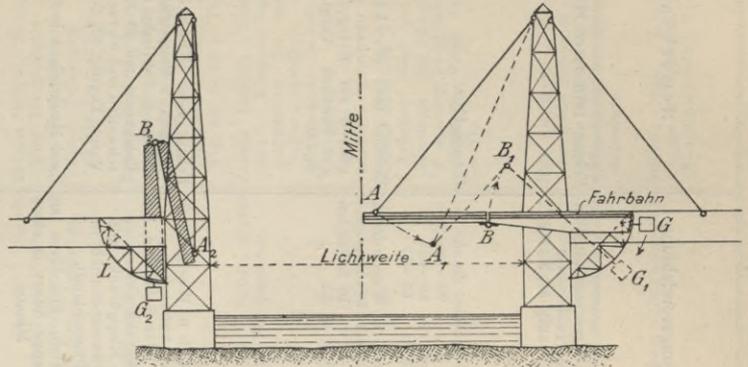
n) Strafenbrücke über die Tiber nächst

Rom (Textfig. 84). Die 12,70 m lange und 5,94 m breite Klappe ist durch Gegengewichte fast völlig ausgeglichen. Die Bewegung erfolgt durch 2 gußeiserne, 3,15 m lange Zylinder von 1,06 m Durchmesser. Diese wirken auf an dem kurzen Brückenarm befestigte Kreissegmente, deren Halbmesser 1,47 m beträgt, mittels Kabeln und schwimmen in hohlen Gufszylindern von 1,14 m Durchmesser. Durch Ab- und Zuleitung von Wasser aus dem tiefer liegenden Fluss wird die Brücke bis zu 75° gehoben oder gesenkt, da die Zylindergewichte sinken oder deren Gewicht durch den Auftrieb vermindert wird. — In dem zylindrisch geformten Mittelpfeiler liefs sich die Bewegungsvorrichtung bequem unterbringen.

Die Anordnung hat sich bei dem schwachen Verkehr der Brücke als billig und zweckmäfsig erwiesen, obwohl das Bewegen der Brücke rund 5 Minuten erfordert.

§ 33. Konstruktion der Faltbrücken. Textfig. 85 gibt schematisch die Konstruktion der in § 25 als Faltbrücken bezeichneten, in den Vereinigten Staaten Nord-Amerikas ersonnenen und ausgebildeten Brückengattung. — Das freie Ende A der durch

Fig. 85. Faltbrücke.



das Gelenk B in zwei Teile AB und BG geteilten Klappe ist über dem Drehpunkt B mittels Zugstangen aufgehängt. Beim Öffnen faltet sich die Brücke im Gelenk B zusammen, während das hintere mit dem Gegengewicht G beschwerte Ende auf dem festen Viertelkreis L gleitet und so schliesslich aus der Lage ABG durch die Lagen $A_1B_1G_1$ in die Endlage $A_2B_2G_2$ gelangt. — In dieser Endstellung bietet die Brücke, da ein grosser Teil der beweglichen Brückenteile von den festen Brückenteilen gegen Wind geschützt erscheint, letzterem eine verhältnismässig kleine Angriffsfläche dar.

Die Faltbrücken eignen sich hauptsächlich für zweiflügelige Brücken, also grössere Lichtweiten. Da die Spitze beim Beginn des Öffnens sich nach abwärts bewegt, müfste bei einflügeliger, bis jetzt noch nicht ausgeführter Anordnung am freien Ende A eine senkbare Stützung vorgesehen werden.

Nach der in Textfig. 85 dargestellten Type ist die Strassen-Faltbrücke in der Holtonstrafse in Milwaukee für eine Lichtweite von 21,3 m ausgeführt worden. Der Abstand beider Haupttragwände misst 7,92 m und die lichte Weite zwischen den Geländern 13,41 m. — Bis über Hochwasser ist der Pfeilerunterbau gemauert; die Portaltürme sind als Fachwerkskonstruktionen und die Zufahrtsöffnungen, an welchen auch die Rückankerzugstangen befestigt sind, als vollwandige Blechträger ausgebildet. — Bei der 10,6 m breiten Kanal-Strassenbrücke in Chicago sind (für 24,88 m Lichtweite) bei sonst nahezu gleicher Gesamtanordnung die beiden Hauptträger auch nächst den Gelenkpunkten B (Textfig. 85) durch eine von hier nach dem Turmhaupt laufende Zugstange geführt. Letztere hat sich nicht bewährt und zu erheblichen Betriebserschwerungen geführt, weshalb sie bei der später ausgeführten Holton-Strassenbrücke entfiel (vergl. über Faltbrücken: Litt. 20, 21, 24, 29 und 32 nach § 34). — Eine Verriegelung beider Vorderklappen in Brückenmitte hielt man bei den bisherigen Ausführungen für entbehrlich, obwohl bei der Chicagoer Brücke bei einseitiger Belastung daselbst bereits eine Stufe von 10 mm Höhe auftreten kann. Wenn auch dadurch die statischen Wirkungen in beiden Brückenhälften voneinander unabhängig und die Lastübertragung klar bleibt, treten doch sehr nachteilige, unzulässige Stofswirkungen auf.

§ 34. Berechnung der Faltbrücken. Theoretisch hätte man blofs die Bewegungswiderstände für eine wagerechte Bahn des Gesamtschwerpunktes der beweglichen Teile zu überwinden. Für die praktisch in Betracht kommenden Längenverhältnisse, unter der vereinfachenden Annahme: die Schwerpunkte S_1 und S_2 der Vorder- und Hinterklappe, die Gelenkpunkte A und B (Textfig. 85) und der Angriffspunkt des Fufspunktes

No.	Ort	Bestimmung	Lichtweite m	Länge m	Ganze Breite m	Gewichte	Bewegungsvorrichtung	Bemerkungen.	Litt. Nachw. No.
1	Binnenhafen Fijenoord, Rotterdam.	Straße und Eisenbahn (Lokomotive von 16 t mit einem beladenen Wagen).	23	Zwischen Kämpfern 24,0; zwischen Drehachsen 27,0; Hinterklappe 5,3.	Fahrbahn 7,5; zwei Fußwege zu 1,5.	—	Hand oder Gaskraft mit Hilfe von Druckwasser (vergl. Textfig. 61, S. 66).	Erbaut 1878 durch Mees.	16
2	Knippelsbro, Kopenhagen.	Straße.	17,28	Vorderklappe 10,07; Hinterklappe 4,07.	9,42	Eine Vorderklappe . . . 40,678 Eine Hinterklappe . . . 5,493 Gegengewicht . . . 58,000	Wind geöffnet durch: Wasserdruck in 90–105 Sek. Luftdruck in 50–60 „ „	Erbaut 1869.	5 u. 16
3	Hohe Brücke, Königsberg i. Pr.	Straße.	14,7	Vorderklappe 9,61; Hinterklappe 4,69.	Fahrbahn 6,0; zwei Fußwege zu 1,5 auf Konsolen.	Nach Voranschlag für eine Hauptträger . . . 7,941 Brückentafel . . . 7,459 Flußisen . . . 14,800 Geländer und Belag . . . 3,080 Ferner für zwei Klappen: Gegengewicht 50,700 Kraftsammler-Gewicht 20,000 Fahrbahn-Stahlplatten 17,000	Handbetrieb u. Wasserdruck (16 Atmosph.), Öffnen oder Schließen in 40 Sekunden. (Erste Klappbrücke mit Druckwasser-Betrieb in Deutschland).	Eröffnet 1883 (Frühling u. Naumann). Fahrbahn aus Gußstahlplatten auf Belagisen hat sich gut bewährt. Vergl. Textfig. 54, S. 54.	12
4	Honig-Brücke, Königsberg i. Pr.	Straße.	10,0	Achsenabstand 13,2.	Fahrbahn 6,0; zwei Fußwege zu 1,5 auf Konsolen.	—	Handbetrieb u. Wasserdruck (16 Atmosph.), Öffnen oder Schließen in 40 Sekunden. (Erste Klappbrücke mit Druckwasser-Betrieb in Deutschland).	Erbaut 1880 (Frühling u. Naumann). 7 Hauptträger in je 0,5 m Abstand. Fahrbahn auf verzinktem Belagisen mit 20 × 10 cm Langschwellen und hierauf Bohlenbelag. Vergl. Textfig. 62, S. 63.	7
5	Frederiksholmskanal, Kopenhagen.	Eisenbahn (12 t Achslast, 1,57 Radstand) und Straße (5 t Achslast, 500 kg pro qm Fußweglast).	9,4	Ganze Trägerlänge 12,55; Vorderfügel 6,0.	Fahrbahn 3,15; Fußweg 1,56.	—	Handbetrieb. Ein Mann an jeder Klappe öffnet in einer Minute	Zwei Hauptträger in 7,2 m Abstand. 13	13
6	Schleuse des Nivernais-Kanals.	Straße.	5,2	Vorderklappe 5,9; Hinterklappe 3,0.	2,5	Schweißisen 4,85 Gußeisen 7,00.	Bewegt durch das Wärtengewicht (§ 30).	Siehe Textfig. 64, S. 63.	8
7	Festungsgraben, Köln.	Eisenbahn.	2,6	Ganze Trägerlänge 4,86.	Eingleisig.	—	Handbetrieb.	1859 erbaut. Siehe Textfig. 63, S. 63.	4

II. Neuere Ausführungen, nach Lichtweiten geordnet.

8	Thamesbrücke (Towerbrücke), London.	Straße.	60,96	Zwischen Drehachse 69,04. Vorderklappe 34,52; Hinterklappe 15,01.	Fahrbahn 9,75; zwei Fußwege zu je 2,59.	Eine belastete Klappe: 1240 Blei 522 Ballast: Guß 132	Zwei vollständig getrennte Maschinen mit Dampfkeselanlage: 360 Pferdekräfte. Kraftübertragung durch Wasserdruck	Erbaut 1892/94. Gesamtkosten der rund 800 m langen Brücke 16 764 000 M. Hiervon Druckwassermaschinenanlage allein 1 720 000 M. Baustoff 4200–4650 kg/qcm, Bruchfestigkeit bei 20% Dehnung. — Jährliche Betriebskosten 103 370 M. Vergl. Textfig. 66, S. 67.	18
9	Van Buren-Straßenbrücke, Chicago (N. A.).	Straße.	33,24	Eine Klappe 7,32 + 18,05.	Fahrbahnen 2 × 5,30; Fußwege 2 × 2,44.	Jeder bewegliche Teil: 60.	Zwei Dynamomaschinen von je 50 PS. Preßluft für die Nebenanlagen Abschlusstore, Signale u. s. w.	Erbaut 1894/95. 3 Hauptträger, 22 Drehung auf Kreisquadranten auf gezahnten gußeisernen Laufbahnen. Kosten 712 740 M. einschließlich Zufahrten und Kraftanlage. Erbauer: Scherzer. Vergl. Textfig. 75, S. 77.	22
10	16. Straße in Milwaukee (N. A.).	Straße.	20,73	Ganze Trägerlänge 14,63 + 0,71.	Fahrbahn 12,19; Fußwege 2 × 1,98.	—	Elektrizität. Bei gewöhnlichem Wetter zum Öffnen 20 Ampère mit 414 Volt = 11 PS, 15 Sek. zum Schließen und 20 zum Öffnen. (Notfall: Hand).	Der bewegliche Teil stets im Gleichgewicht. — Zahnstangenge triebe mit Federbremsung. Kosten 176 400 M. Vergl. Textfig. 77, S. 78.	26
11	Huronstraße, Milwaukee (N. A.).	Straße.	23,77	Trägerlänge 14,16.	Fahrbahn 10,36; zwei Fußwege zu 2,14.	Jede Klappe rund: 70. Gegengewicht: 45.	Elektrizität. Zwei Motoren von je 25 PS. (Notfall: Handwinde).	Erbauer: Schinke. Jede Klappe 4 31 Hauptträger. — 25 Sek. Öffnungszeit bei gewöhnlichem Wetter. Vergl. Textfig. 73, S. 73.	31
12	Schmiedebrücke, Königsberg.	Straße und Straßenbahngleise.	22,80	Zwischen Drehachsen 28,3; Hinterklappe 4,35.	Ganze Breite 12,5; Fahrbahn 7,5.	Jede Klappe 78; Gegengewicht 130.	Wasser. (Notfall: Hand). Kraftsammler mit Pumpwerk durch je 8 pferdigen Gas- und Elektromotor betrieben.	Erbaut 1895/96. Drehung um 750. — Vier Hauptträger. Fahrgewölke aus Gußstahlplatten. Rückankerung durch Schlingen. Vergl. Textfig. 69 bis 71, S. 72 bis 73.	29
13	Chicago-Fluß, Chicago.	Straße.	18,6	Vorderklappe 7,93; Hinterklappe	Fahrbahn 6,16; zwei Fußwege zu 1,98.	—	Winden mit Seilantrieb.	Erbauer: Haarmann. Die Faltenzugbrücke auf 13,95 m hohen Eisengerüsten aufgehängt. — Vorbild für eine Reihe eiserner Brücken dieses Systems. Vergl. Fortschrittsheft Fig. 69, S. 68 u. Textfig. 85, S. 85.	20
14	Hansabrücke über die Oder in Stettin.	Straße mit zwei Straßenbahngleisen.	17,6	Vorderklappe 6,929; Hinterklappe 3,693.	Fahrbahn 8,5; zwei Fußwege 2,85; Hauptträgerabstand 9,87.	Beide Klappen 350; hiervon Ballast: Gußeisen 153 Blei 32.	Elektrizität. Neuer, eigenartiger Mechanismus.	Erbaut 1904/05. Höhenwinkel 760, 51 24'. — Klappen lagern auf Kreissegmenten, die auf wagerechten Bahnen abrollen. — Leitwerk für einfahrende Schiffe. Eingehende Mitteilungen siehe Literaturnachweis 51, S. 88.	51
15	Schleuse in Rendsburg.	Straße.	12,0	Vorderklappe 7,7; Hinterklappe 2,6.	Fahrbahn 4,7; zwei Fußwege zu 1,85; Hauptträgerabstand 5,0.	—	Hand.	Höhenwinkel 750. 9 Hauptträger. Ein Arbeiter öffnet die Brücke in 2 Minuten. Bei 50 kg/qcm Winddruck 2 Arbeiter in 50 Minuten. Kosten: 42 000 M. Vergl. Textfig. 68, S. 70 u. 71.	34
16	Bootschiffenbrücke im Innenhafen, Kiel.	Straße und 1 Bahngleis (schief).	9,80	Vorderklappe 10,96; Hinterklappe 4,11.	Fahrgeweg 14,04; Fußwege 0,26 und 14,04.	159,29 und Ballast 129,0.	Elektrizität. 2 gekoppelte 17,7-pferdige Hauptstrommotoren und ein 2,5 pferdiger Motor für die Pendelstütze.	1905 im Bau. — 6 Hauptträger. — Am Ende des kurzen Armes Pendelstütze. — Entwurf und Ausführung: Maschinenbau-Aktien-Gesellschaft Nürnberg.	9)
17	Kanalschleuse, Ost-Kanal, Frankreich.	Fußweg.	5,16	Trägerlänge rund 8,0 m.	Nutzbare Breite 2,0.	—	Selbsttätig. (Schwimmer.)	Erbaut: 1892. Tragfähigkeit: 200 kg/qm. — Kosten: 2165 M. Vergl. Fortschrittsheft: Textfig. 70, S. 69.	25

9) Mitteilungen nach Plänen der Vereinigten Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg, A. G.

der Rückhaltzugstange liegen in einer Geraden, wobei der Gelenkpunkt *B* lotrecht unter dem oberen Befestigungspunkt der Rückhaltzugstange liege, ergibt sich jedoch beim Beginn des Öffnens ein anfangs ansteigender und dann bis zum Schluß der Brücke ein fallender, zuletzt nahezu wagerechter Verlauf der Schwerpunktskurve. Es muß also beim Öffnen die Brücke zuerst etwas angehoben werden; sie öffnet sich aber dann selbsttätig weiter, wobei sie leicht gebremst werden kann, weil nun der Gesamtschwerpunkt auf eine verhältnismäßig lange Strecke (vergl. Fortschrittsheft S. 107, Fig. 92 bis 94) sich nahezu wagerecht bewegt. Das Schließen der Brücke erfordert daher wegen der umgekehrten Bewegungsrichtung einen erheblich größeren Arbeitsaufwand und insbesondere gegen Schluß eine erhebliche Bremstätigkeit. — Auf die von Barkhausen gegebene genauere analytische Untersuchung der Bewegungsvorgänge kann hier, Raummangels halber, nicht eingegangen werden. Siehe hierüber insbesondere Litt. 24 nach § 34.

Litteratur

(zugleich nach der Zeitfolge geordneter Quellenachweis).¹⁰⁾

Klapp- und Falbrücken betreffend.

1. Brücke über den Landwehrkanal bei Berlin. Zeitschr. f. Bauw. 1852, S. 487 mit Taf. 79.
2. Manger. Brückenanzüge (Klappbrücken). Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1860, S. 263, mit Fig. 10—13 auf Bl. 5.
3. Klappbrücke über die Deva in Spanien. Nouv. ann. de la constr. 1867, S. 106, mit Bl. 31 u. 32 (auch Litt. 16, S. 86, mit Taf. 1).
4. Klappbrücke über den Festungsgraben in Köln. Erweiterungsbauten der Rheinischen Eisenbahn von Hartwig. 1867.
5. Deu nye Knippelsbro til Christianhavn, selvständiges Werk, auch in Engng. 2. Sem. 1870 und in der Tijdschrift van het k. Inst. van Ing. 1878/9, S. 311.
6. Die alte Anglesea-Brücke zu Cork und die provisorische Brücke (eiserne Klappbrücke auf Holzjochen) beim Umbau der ersteren. Engng. 1880, I. S. 452. Mit Abb.
7. Naumann. Die neue Honig-Brücke in Königsberg i. Pr. Wochenbl. f. Arch. u. Ing. 1881, S. 392 u. 399. Mit Abb. 1 auf Taf. II.
8. de Mas. Pont oscillant à l'écluse des dames (Canal Nivernais). Ann. des ponts et chaussées 1883, II. S. 595. Mit Abb.
9. Die Klappbrücke zu Amsterdam, zur Verbindung der Stadt mit dem neuen Handelskai. Mitteilung von C. Winde. Zentralbl. d. Bauverw. 1883, S. 18. Mit Abb.
10. C. Winde. Klappbrücke bei Rotterdam. Zentralbl. d. Bauverw. 1883, S. 482. Mit Abb.
11. Heinzerling. Die beweglichen Brücken. 1883, mit Abb. u. Taf.
12. Die Hohe Brücke in Königsberg i. Pr. Eine technische Studienreise nach West- und Ostpreußen von Fr. Gerlach und Genossen. Berlin 1884, S. 69. Mit Abb.
13. Brug over het Fredriksholmskanaal. Tijdschrift van het k. Inst. van Ingenieurs 1885/6, S. 344, mit Taf. 25—28.
14. Klappbrücke in der Charlotten-Brücke über die Havel in Spandau. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1887, S. 487.
15. K. Kinzer. Reisebericht. Eiserne Klappbrücke zu Königsberg i. Pr. (Umgebaute Köttelbrücke.) Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1887, S. 127 u. Taf. XVIII—XX.
16. Henket, Schols en Telders. Waterbowkunde 1888, 3. Teil, XIV. Abteil., mit Taf. 1—7. Ausführliche Abhandlung über Klappbrücken.
- *17. The Liverpool overhead railway. Engng. 1891, II. S. 714 u. 741, mit Abb.; Génie civil 1892/3, Bd. 22, S. 249, mit Abb. u. Taf. 17; Fortschrittsheft. S. 63, mit Abb. 63.
- *18. Die Tower-Brücke in London. Engineer 1891, I. S. 296, 300, 488 u. 492, 1892, I. S. 125. — Génie civil 1893/4, Bd. 24, S. 25, mit Abb. u. Taf. 2. — Nouv. ann. de la constr. 1894, S. 113, mit Taf. 33/4, S. 161, 177, mit Abb. u. Taf. 45—52. Barkhausen, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 410,

¹⁰⁾ Siehe Anm. 3, S. 18.

- 514 u. 544, mit 73 Abb. — Eiselen. Zentralbl. d. Bauverw. 1894, S. 57 u. 73, mit Abb. — J. E. Tuit. The Tower bridge 1894, 106 Seiten mit zahlreichen Abb. und 6 Tafeln.
- *19. Klappbrücke in Rotterdam. Zeichnungen der Hütte 1891, Bl. 2. Vergl. Textfig. 67, S. 68. Fortschrittsh. S. 70, Litt. 3.
- *20. A folding-floor draw bridge over the Chicago river. Erfinder Haarmann. Engng. 1891, II. S. 84 u. 91, mit Abb. — Engng. News 1891, I, S. 487, mit Abb. — Zentralbl. d. Bauverw. 1892, S. 116, mit Abb. — Génie civil 1893/4, Bd. 24, S. 337, mit Abb. — Fortschrittsh. Fig. 69, S. 68.
- *21. W. Ritter. Die neue Faltenzugbrücke in Chicago. Schweiz. Bauz. 1893, Bd. 22, S. 86, mit Abb.
- *22. Landsberg. Klappbrücke in der Van Buren-Straße in Chicago. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 863, mit Abb. u. Taf. 18. — Railroad Gaz. 1893, S. 762; 1894, S. 163 u. 1895, S. 99, 119 u. 565, mit Abb. — Génie civil 1894/5, Bd. 26, S. 337, mit Abb. u. Taf. 22. — Engng. News 1895, I. S. 114, mit Abb. u. Taf. — Engng. 1895, II. S. 92 u. 159, mit Abb. u. Doppeltaf. — Engng. Rec. 1895, Bd. 31, S. 77, mit Abb. — M. Foerster. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1897, S. 541, mit Abb. — Unfall. Engng. News 1900, I. S. 311.
- *23. Klappbrücke System Hase. Stahl und Eisen 1894, II. S. 1009, mit Abb. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1894, S. 258, mit Abb.; 1898, S. 457, mit Abb. — Österr. Zeitschr. f. d. öff. Baudienst 1898, S. 206, mit Abb.
- *24. Barkhausen. Faltbrücken. Mitteilungen einer Studienreise. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 1147, mit Abb. u. Taf.
- *25. M. Roussel. Passerelle de halage à bascule se mouvant automatiquement sur le canal de l'Est. Ann. des ponts et chaussées 1894, II. S. 39, mit Taf. — Génie civil 1894/5, Bd. 26, S. 38, mit Taf. — Zentralbl. d. Bauverw. 1895, S. 354, mit Abb. — Nouv. ann. de la constr. 1895, S. 22, mit Abb. — Fortschrittsh. Fig. 70, S. 69.
- *26. Pont levé du viaduc de la 16. rue, Milwaukee. Génie civil 1894/5, Bd. 26, S. 369, mit Taf. — Engng. News. 1895, I. S. 146, mit Abb. u. Taf. — Railroad Gaz. 1895, S. 649, mit Abb. — Barkhausen. Klappbrücke mit wagerechtem Schwerpunktsweg. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1896, S. 805, mit Abb. — M. Foerster. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1897, S. 543, mit Abb. — Fortschrittsh. Fig. 67 u. 68, S. 66 u. 67.
27. Newton Creek bridge, Brooklyn. Dreigelenkträger-Klappbrücke. Entwurf: Breithaupt. Engng. Rec. 1896, Bd. 34, S. 179, mit Abb. — Engng. News 1896, II. S. 292, mit Abb.
- 27a. Druckwasser-Klappbrücke, E. Brown. Engng. Rec. 1896, Bd. 34, S. 179 u. 402, mit Abb. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1896, S. 1065, mit Abb.
28. Weitere Entwürfe: Engng. News 1896, II. S. 292, mit Abb. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1896, S. 1439, mit Abb. — M. Foerster. Zeitschr. f. Arch. u. Ing.-Wesen 1897, S. 535, mit Abb.
29. Schinke. Neue Klappbrücke im Zug der Huronstraße, Milwaukee. Engng. News 1897, I. S. 253, mit Abb. — M. Foerster. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1897, S. 1360, mit Abb.
30. Michigan street drawbridge, Buffalo. Engng. News 1897, II. S. 125, mit Abb.
31. Antriebsmaschine für eine Scherzer-Roll-Klappbrücke in Chicago. Engng. News 1897, II. S. 170, mit Abb.
32. Lorey. Neue Konstruktionen beweglicher Brücken. Süddeutsche Bauz. S. 240 u. 252, mit Abb.
33. Richter. Die Schmiedebrücke, eiserne Straßsenklappbrücke in Königsberg. Zeitschr. f. Bauw. 1897, S. 515—26, mit Abb. u. Taf. — Deutsche Bauz. 1901, S. 431, mit Abb.
34. Schultz und Fülcher. Der Bau des Kaiser Wilhelm-Kanales 1899. Die Klappbrücken. I. Bd., S. 126, mit Abb. u. Taf. 25, 27 u. 30.
35. The Fort point channel bridge, Boston. Scherzer-Roll-Klappbrücke. Engng. Rec. 1899, Bd. 40, S. 261, mit Abb. — Engng. News 1900, I. S. 170, mit Abb.
36. Scherzer rolling lift bridges over the Chicago river. Engng. Rec. 1899, Bd. 40, S. 382, mit Abb.
37. The Cuyahoga river rolling lift bridge, System Scherzer. Engng. Rec. 1900, Bd. 41, S. 200, mit Abb.
38. The eight track Scherzer rolling lift bridge at Chicago. Engng. Rec. 1900, Bd. 41, S. 491, mit Abb.
39. The Chicago type of bascule bridge. 3 Entwürfe. Engng. Rec. 1900, Bd. 42, S. 50, mit Abb. — M. Foerster. Bauing.-Zeit. 1900/01, S. 145, mit Abb. — Engng. News 1901, I. S. 18, mit Abb.
40. Page. Bascule bridge over the Chicago river at Ashland Avenue. Engng. News 1901, I. S. 311, mit Abb. — (Vergl. Litt. 47.)
41. Bascule bridge over the Chicago river at Clybourn place, Chicago. Engng. News 1901, I. S. 75, mit Abb.
42. Die Straßsenbrücken der Stadt Berlin. 1902, Bd. I, S. 8, 18, 21 mit Abb. 22—29, S. 24 mit Abb. 30 und S. 27, Abb. 33—35; S. 35, mit Taf. 4 des II. Bandes u. S. 71 mit Taf. 8 des II. Bandes.

43. Bascule bridge at grand avenue, Milwaukee. Engng. News 1902, II. S. 19, mit Abb. u. Taf. — Génie civil 1902, Bd. 41, S. 282 u. Engng. Rec. 1902, Bd. 46, S. 58.
44. Rolling lift bridge at Chicago, System Scherzer. Engng. 1902, II. S. 676; 757 u. 807, mit Abb.
45. The bascule bridge at West Divisionstreet. Iron age 1902, S. 18, mit Abb.
46. Scherzer. Rolling-lift plate girder railroad bridges. Engng. Rec. 1903, II. S. 39, mit Abb.
47. Page und Schnabel. The Ashland avenue bascule bridge, Chicago. Engng. Rec. 1903, II, S. 434, mit Abb. (vergl. Litt. 40).
48. Opening bridge over Barking Creek. Engng. 1904, I. S. 317, mit Abb.
49. Geist. The Broadway bascule bridge at Milwaukee. Engng. News 1904, II. S. 26, mit Abb.
50. Twin lift bridge operated by gase engines; New draw over Newark bay. Engng. News 1904, I. S. 173, m. Abb.
51. Die Hansa-Brücke zu Stettin. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1905, S. 677, mit Abb. u. Taf.
52. Vereinigte Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg. — Bewegliche Brücken. Abbildung der Klappbrücke über die Bootshafen-Einfahrt in Kiel.

E. Drehbrücken.

I. Allgemeine Beschreibung der Drehbrücken.

§ 35. **Konstruktionsleitgedanke. Gleicharmige, ungleicharmige und einarmige, einteilige und zweiteilige Drehbrücken.** Die Bewegung der Brückenbahn erfolgt bei den Drehbrücken um eine lotrechte Achse. Je nachdem letztere mit der Brückenmitte zusammenfällt oder nicht, unterscheidet man gleicharmige Drehbrücken (Textfig. 102 bis 105, 123, 130 u. 198) und ungleicharmige Drehbrücken (Taf. I, Fig. 1 u. 2 und Taf. III, Fig. 8 bis 10 und Textfig. 106 bis 113, 179, 188, 193, 195, 196 u. 210). Hierzu treten die einarmigen Drehbrücken, bei denen der Drehzapfen an einem Ende liegt (Taf. I, Fig. 7 bis 9 und Litt. 150 nach § 94), vergl. auch Litt. 78 nach § 94, Taf. 36, Fig. 4. Bei den gleicharmigen lagert der Drehzapfen gewöhnlich auf einem Pfeiler in der Mitte des Fahrwassers und es werden bei geöffneter Brücke zwei Durchlassöffnungen frei gegeben, was besonders bei lebhaftem Wasserverkehr von Wichtigkeit sein kann. Es können dann, wenn die Brücke zum Durchdrehen um 360° eingerichtet ist, gleichzeitig Schiffszüge stromauf- und stromabwärts fahren. Es leuchtet ein, daß gleicharmige Drehbrücken im allgemeinen leichter als die ungleicharmigen ausfallen müssen, da bei den ersteren das Eigengewicht für das Aus- und Eindrehen sich ausgleicht, während bei letzteren besondere Gegengewichte erforderlich sind, die oft an ziemlich kurzen Hebelarmen wirken. So hat z. B. die South-Brücke zu Hull zwei Arme von 37,2 und 14,3 m; während nun das Gewicht der Brücke 300 t beträgt, wiegt das Gegengewicht nicht weniger als 500 t. Auch wirkt der Wind auf die ungleicharmigen Drehbrücken ungünstiger und es kann das hierbei erzeugte Drehmoment sogar zum Öffnen einer nicht verriegelten Brücke genügen. Diesem Übelstand ist bei neueren Drehbrücken (Nord-Ostsee-Kanal) durch Anbringung von Windschürzen (Textfig. 179), oder aber durch entsprechende Formgebung der Hauptträger selbst (Textfig. 196) größtenteils abgeholfen worden. Andererseits verursacht der Mittelpfeiler der gleicharmigen Drehbrücken eine Verengung der Wasserstraße. Daher diese Anordnung meist bei Flufsbrücken, seltener bei Drehbrücken über Kanäle.

Bei den ungleicharmigen Drehbrücken hatte man früher den Drehzapfen meistens über dem Widerleger angeordnet (Textfig. 106, 108, 110 u. 120), bei neueren Brücken liegt er meistens über dem Zwischen(Dreh-)pfeiler (Taf. I, Fig. 1 bis 8; Taf. III, Fig. 8 u. 9; Textfig. 107, 122, 179, 188 u. 210). Ist die Lichtweite zu groß, so teilt man dieselbe in zwei Teile, indem man zweiteilige Drehbrücken anordnet (Textfig. 122 und Taf. III, Fig. 15 bis 18). Letztere Konstruktion kann auch durch örtliche Ver-

hältnisse bedingt werden (z. B. beschränkter Platz auf den Widerlagern, um die ausgeschwenkte Brücke unterzubringen, ferner sehr großes erforderliches Gegengewicht bei kurz zu haltendem Hinterflügel). Dieselbe hat jedoch den wesentlichen Nachteil, daß es schwer ist, eine gehörig feste Unterstützung an der Zusammenstoßstelle der Flügel zu schaffen, da Riegel und dergl. nur ungenügend den Zusammenhang der Träger ersetzen. Man hat daher, um ein Kippen der Brücke zu verhindern, den Hinterflügel von unten gegen Maueranschlüge sich anlehnen lassen (Textfig. 108), oder denselben mit lösbaren Verankerungen versehen (Brücke in Brest), oder endlich den Hinterarm schwer genug gemacht, um beim Befahren der Brücke genügendes Gegengewicht zu liefern (nördliche Erweiterung der Mersey-Harbour-Estate in Liverpool). In befriedigender Weise ist diese Aufgabe gelöst bei der Doppeldrehbrücke in Lübeck (vergl. § 91). — Eisenbahndrehbrücken werden einteilig, ohne oder mit Zentralpfeiler konstruiert. Letztere Anordnung empfiehlt sich auch bei sehr lebhaftem Straßenverkehr über die Brücke, da diese beim Zudrehen nicht rückwärts geschwenkt zu werden braucht, sondern in derselben Richtung wie beim Öffnen durchgedreht werden kann.

§ 36. Anordnung des Grundrisses. Achsiale und nichtachsiale Stellung des Drehzapfens. Hinzufügung des zweiten Gleises. Der Drehzapfen ist fast stets in der Brückenachse (Textfig. 97, 103, 106, 109, 111 u. 188), oder ganz ausnahmsweise seitlich derselben (Textfig. 113) angeordnet. Letztere Konstruktion gestattet, den Zapfen näher an den Rand des Ufermauerwerks zu lagern, wodurch bei gleicher Flügellänge an Durchfahrtsweite gewonnen wird. Andererseits wird bei dieser Anordnung das Brückengewicht aufser vom Zapfen *c* zum großen Teile von den Laufrollen *b* und besonders *a* getragen und es muß daher beim Drehen die Zapfenreibung der letzteren überwunden werden.

Der Abschluß des beweglichen Überbaues im Grundriß erfolgt mittels vom Drehzapfen aus beschriebener Kreisbögen, denen die anschließende Mauerbegrenzung entweder konzentrisch (Textfig. 102, 120, 195*b*, 196 und 200*c*) oder derart exzentrisch, daß sie sich beim Öffnen der Brücke zwischen Mauer und Eisenkonstruktion vergrößert. Letztere Anordnung findet sich nur bei älteren Ausführungen. Bei nichtachsialer Zapfenstellung kann der Vorderarm geradlinig abgeschnitten werden (Textfig. 113).

Die nachträgliche Hinzufügung eines zweiten Gleises ist bei Drehbrücken wesentlich schwieriger als bei festen Brücken. Die Textfig. 109 u. 111 zeigen Beispiele hierfür. Bei der Peene-Brücke zu Anclam (Textfig. 111) befinden sich beide Drehachsen auf demselben Pfeiler in 2,2 bzw. 5,33 m Abstand von der Mauerkante. Der Abstand 5,33 m der beiden Gleisachsen war durch die anschließende feste Brücke bedingt. Während die Drehbrücke für Gleis I vom Zapfen *c* und den beiden Laufrollen *a* und *b* (vergl. Textfig. 111) getragen wird, ruht das Gewicht der Brücke II zum größten Teil auf einem Rollkranzbogen *de* von 4,08 m Halbmesser. Die durch Kuppelstangen miteinander verbindenden Drehbrücken legen sich in geöffnetem Zustande parallel nebeneinander.

§ 37. Anordnung des Querschnittes. Gestatten es die Verhältnisse, die Träger unter die Bahn zu legen, so wird man letztere näher zusammenrücken und auch die Pfeiler niedriger halten können. Ferner ermöglicht diese Anordnung die Anbringung wirksamer Vertikalverbände. Außerdem gestattet diese Trägerlage deren Schiefstellung, wodurch unter Umständen sich erhebliche Vorteile für die Gesamtanordnung erreichen lassen. Vergl. Osterröndfelder Drehbrücken, § 84.

Die Anzahl der Hauptträger bei zweigleisigen Eisenbahnbrücken wird entweder zu zwei (Textfig. 114 u. 120) oder zu vier, seltener zu drei (Ousebrücke bei Goole, Litt. 9 nach § 94) angenommen. Im allgemeinen führt die Wahl von 4 Hauptträgern bei kleinen Spannweiten, und von 2 Hauptträgern bei größeren Spannweiten zu dem geringsten Brückengewichte. Bei mehr als 2 Gleisen werden mit Rücksicht auf die anwachsenden Gewichte der Fahrtafel mindestens 3 Hauptträger angeordnet (Textfig. 103). Die Lastverteilung auf die Hauptträger kann dann allerdings nur angenähert bestimmt werden, wenn die Querträger durchlaufend angeordnet sind.

Ganz ähnliches gilt auch bei Strafenbrücken, doch kann bei unter der Bahn liegenden Hauptträgern eine größere Anzahl der letzteren zu einer einfacheren und leichteren Brückenkonstruktion führen. Amsterdamer Brücken von 60 m Länge, 4,8 m breiter Fahrbahn und 7 bis 8 m zwischen Geländern haben 4 Hauptträger mit auf Konsolen ruhenden Fußwegen.

In Deutschland findet man aber auch bei großen Drehbrücken, der klaren Kräfte- wirkung der Hauptträger halber, fast nur 2 Hauptträger angeordnet (Taf. II, Fig. 11 u. 16; Textfig. 193, 195, 196 u. 202).

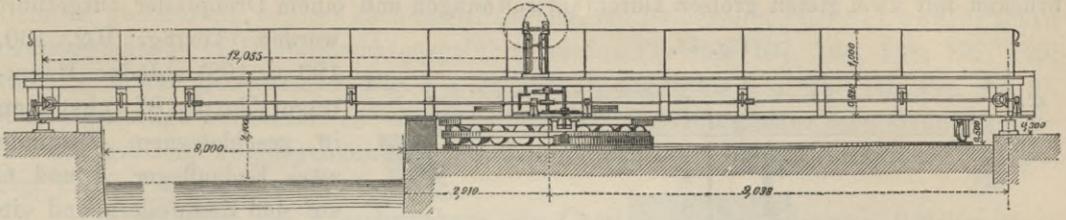
Drehbrücken für getrennten Eisenbahn- und Strafenverkehr sind verhältnismäßig wenige ausgeführt. Beispiele: 1. Mississippi-Brücke zu Keokuk 114,7 m lang, 6,56 m Trägerabstand, Fahrbahn unten für ein Eisenbahn- und auf jeder Seite je ein Pferde- bahngleis, Fußwege auf Konsolen; 2. Drehbrücke an dem Bassin national zu Marseille (Textfig. 106), 62 m lang, 3 Hauptträger, ein Eisenbahngleis und eine 7 m breite Strafe, Fußwege auf Konsolen, Gesamtbreite 15,94 m; 3. Mississippi-Brücke von Rock-Island nach Davenport, 112,2 m lang, Eisenbahn unten, Strafe oben. Letztere Anordnung, welche man auch bei der 111,9 m langen Rock-Island-Brücke (Litt. 129 nach § 94) mit zweigleisiger Bahn und bei der 1902/03 erbauten, 47,56 m langen, viergleisigen Drehbrücke über den Oberhafen bei Altona (bei den beiden letzteren Brücken liegt die Bahn oben und die Strafe unten) findet, erscheint, wo die örtlichen Verhältnisse es gestatten, als die einfachste.

§ 38. Auflagerung der Drehbrücken auf dem Drehpfeiler. Brücken mit und ohne Rollkranz. In geschlossenem Zustande erhalten die Drehbrücken eine sichere Lage durch mindestens drei Stützpunkte für jeden Hauptträger, von denen je einer an den beiden Trägerenden und einer (oder auch mehrere) in der Gegend des Drehzapfens sich befinden.¹¹⁾ Die mittlere Unterstützung wird in verschiedener Weise ausgeführt.

Von den neueren schmied- und flusseisernen Drehbrücken ist eine sehr große Anzahl mit Rollkranz und einem entweder gar nicht oder nur teilweise tragenden Drehzapfen ausgeführt worden (ähnlich den älteren gusseisernen englischen Drehbrücken). Hierher gehören die meisten neueren Drehbrücken Englands, Frankreichs und nahezu alle der Vereinigten Staaten Nordamerikas (Textfig. 86 a u. b, 103, 114, 116 u. 122; Fortschrittsheft Fig. 29, S. 26; Fig. 38, S. 31; Fig. 42, S. 34

¹¹⁾ Eine Ausnahme bilden die in § 41 beschriebenen Drehbrücken nach dem Patent von Proell und Scharowsky, bei welcher z. B. über zwei gleiche Felder $AB = BC = l$ sich erstreckenden Konstruktion das Eigengewicht der Brücke in der Hauptsache nur auf dem Mittelpfeiler gestützt wird, während die Endstützendrücke, mittels Anhebens des mittleren Stützpunktes B , beliebig klein gemacht werden können. Die Verkehrs- last wird dagegen nur von den beiden Endstützen A und C getragen, weil der mittlere Stützpunkt B , infolge der getroffenen Anordnung, unter der Verkehrs- last ausweicht, sodass die Hauptträger in Bezug auf die zufällige Last nicht als durchlaufende, sondern als einfache Balken über ein Feld $AC = 2l$ anzusehen sind.

Fig. 86 a. Drehbrücke zu Aigues Mortes. M. 1:150.



und Fig. 55, S. 41), während Deutschland keine neueren, größeren Ausführungen nach dieser Konstruktion aufweist.

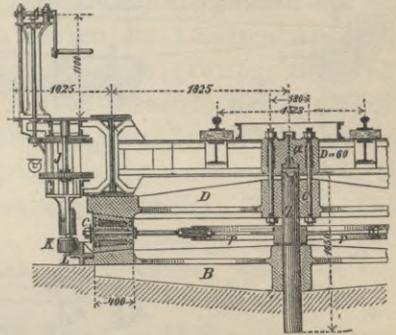
Bei der Eisenbahn-Drehbrücke im Kriegshafen zu Pola ruht die Last der geöffneten Brücke auf einem Kugelkranz nach dem Patente von Weickum (s. Textfig. 153).

Wenn auch der Rollkranz eine sichere und über eine gewisse Fläche verteilte Unterstützung der Brücke bietet, so kann doch bei den teilweise ungeheuren Abmessungen der Drehpfeiler (bei der Harlemfluß-Brücke, Fortschrittsheft Fig. 43, S. 35, beträgt z. B. dessen Durchmesser 17,37 m) weder auf eine gleichmäßige Druckverteilung durch die Rollen, noch auf deren gleichmäßige Abnutzung, mithin auch auf kein gleichmäßiges Arbeiten derselben sicher gerechnet werden. Es ist daher erklärlich, daß man nach einfacheren und statisch bestimmteren Unterstützungsweisen der Brücken gesucht hat, bei welchen außerdem auch das Verhältnis zwischen den Hebelarmen der bewegenden Kraft einerseits und dem des Reibungswiderstandes andererseits sich günstiger gestaltet. Dies führte dazu, daß man bei neueren, sehr schweren Brücken in England und Frankreich die Rollenbewegung ganz (Hawarden-Drehbrücke, Fortschrittsheft S. 22; Pollet-Drehbrücke, Fortschrittsheft S. 44 und Marseiller Strafsen- und Eisenbahn-Drehbrücke, Textfig. 106) oder teilweise (Barton-Kanal-Drehbrücke, Textfig. 213, bei der 800 t vom Rollkranz und 800 t von dem Druckwasser-Königsstuhl aufgenommen werden; s. § 94), sowie in Deutschland ganz allgemein verlassen hat.

Anschließend an ältere, gusseiserne belgische und holländische Konstruktionen hat man zunächst auch bei schmiedeisernen Brücken den Rollkranz auf zwei große Laufräder *a* und *b* (Textfig. 109) beschränkt, welche in Gemeinschaft mit dem Drehzapfen *c* das Gewicht der Brücke und der Betriebslast tragen. Es konnten jedoch in dieser Weise nur kleinere Brücken konstruiert werden, weil sonst die Zapfen und Achsen der Laufräder *a* und *b* außerordentlich stark ausfallen und demnach auch die zur Überwindung der Zapfenreibung erforderliche Kraft zu groß werden würde.

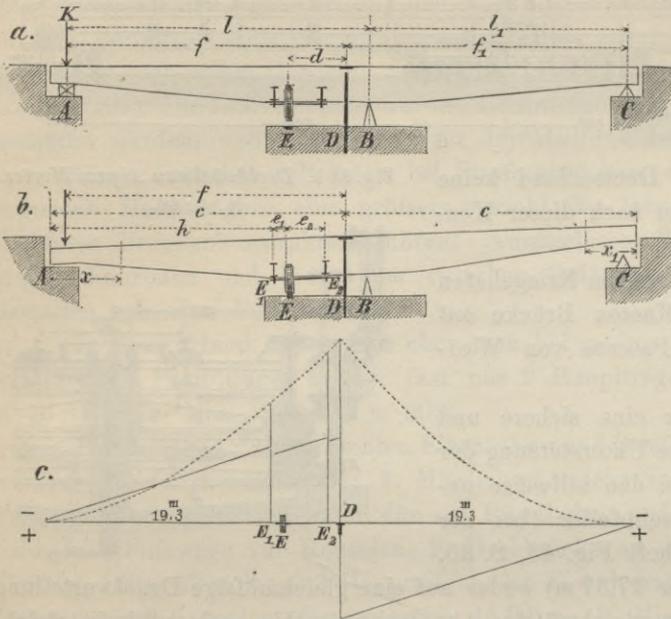
J. W. Schwedler hat daher die Laufräder *a* und *b* (Textfig. 111) hinter dem Drehzapfen *c*, also am kurzen Brückenarme, angebracht und das Gegengewicht am Ende dieses Armes so bemessen, daß von dem Gewichte der Brücke nur ein geringer Teil auf die Räder, der Hauptteil dagegen auf den Drehzapfen kommt. Ist die Brücke eingeschwenkt, so geschieht das Feststellen derselben durch Anheben des kurzen Schenkels bei *d* und *e*. Die Brücke kippt hierbei um den Drehzapfen *c* und legt sich in die Lager bei *f*, *g*, *h* und *i*, während die Laufräder *a* und *b* sich von dem Laufkranz abheben, somit vollständig entlastet werden.

Fig. 86 b. Drehbrücke zu Aigues Mortes. M. 1:80.



Nach diesem Schwedler'schen Konstruktionsgrundsatz sind zahlreiche Drehbrücken mit zwei gleich großen Durchfahrtsöffnungen und einem Drehpfeiler ausgeführt worden (Textfig. 102, 130, 193 u. 198). Jeder Hauptträger (Textfig. 87 a) hat dann in geschlossenem Zustande zwei Endauflager A und C auf den Endpfeilern und ein Mittelauger B auf dem Drehpfeiler (vgl. Textfig. 129), wobei die Spannweite AB größer als BC ist, sodass das Mittelauger nicht auf die Mitte des Drehpfeilers trifft. Von diesen drei Paar Auflagern sind B und C feste Unterlagsplatten, A dagegen bewegliche Auflager (Textfig. 129 u. 130), die gesenkt oder beseitigt werden können, wenn die Brücke geöffnet werden soll. Ein Gegengewicht G am Ende des Armes AB bewirkt, dass der Schwerpunkt in der Nähe des Drehzapfens zwischen D und A liegt.

Fig. 87.



Will man also die Brücke öffnen, so senkt man das Auflager A . Es wird sich dann die Brücke zunächst auf den Drehzapfen D legen (Fig. 87 b) und bei weiterer Senkung sich von den Auflagern B und C abheben. Zu gleicher Zeit setzt sie sich mittels eines Rades E , welches in der Längsachse der Brücke angebracht ist (Textfig. 129) auf eine Laufschiene, sodass nach vollendeter Senkung die Brücke in den Punkten D und E aufliegt. Gegen seitliche Schwankungen bei der Bewegung sind noch zwei Laufräder F (Textfig. 129) angebracht, deren Achsen normal zur Längsachse der Brücke stehen und diametral einander gegenüber liegen. Die Räder F laufen mit dem Stützrad E auf derselben kreisförmig gebogenen Laufschiene; da jedoch erstere nicht auch während des Betriebes der geschlossenen Brücke die Eigenschaft von festen Stützpunkten annehmen sollen, so sind diese Laufräder F durch Federn gegen die Hauptträger abgestützt, deren Spiel beginnt, sobald die Belastung der Räder eine gewisse Grenze überschreitet. Bei späteren und den neuesten Brücken sind die Federn weggelassen und die mit einer Höhen-Nachstellvorrichtung versehenen Laufräder mit einem kleinen Spielraume über dem Schienenlaufkranz montiert (Textfig. 194, d_1 u. d_2).

Die anfänglich nach Schwedler ausgeführten Drehbrücken bei Königsberg, Stettin, Hämerten, Spandau, Dömitz, Harburg, Düsseldorf, Hohnstorf, Tilsit, über die Kahnfahrt an der Berlin-Stettin-Bahn u. s. w. haben je zwei Lichtweiten von 12 bis 14 m. Die Drehpfeiler sind zylindrisch von 7,8 bis 8,0 m. Der Abstand des Lagers B vom Zapfen D beträgt 0,94 bis 1,0 m und der Abstand der Stützrads E von D ist $d = 3,5$ m angenommen. Das Gegengewicht K ist derart bemessen, dass der Druck der sich drehenden Brücke auf das achsiale Stützrad E ungefähr 5000 kg beträgt. Auf denselben Druckbetrag sind auch die Federapparate der beiden Laufräder F normiert.

Die anfänglich nach Schwedler ausgeführten Drehbrücken bei Königsberg, Stettin, Hämerten, Spandau, Dömitz, Harburg, Düsseldorf, Hohnstorf, Tilsit, über die Kahnfahrt an der Berlin-Stettin-Bahn u. s. w. haben je zwei Lichtweiten von 12 bis 14 m. Die Drehpfeiler sind zylindrisch von 7,8 bis 8,0 m. Der Abstand des Lagers B vom Zapfen D beträgt 0,94 bis 1,0 m und der Abstand der Stützrads E von D ist $d = 3,5$ m angenommen. Das Gegengewicht K ist derart bemessen, dass der Druck der sich drehenden Brücke auf das achsiale Stützrad E ungefähr 5000 kg beträgt. Auf denselben Druckbetrag sind auch die Federapparate der beiden Laufräder F normiert.

In der jüngsten Zeit sind auch sehr große und schwere Drehbrücken, und zwar nicht nur gleicharmig, sondern auch ungleicharmig, mit Beibehaltung des Schwedler'schen Grundgedankens in Deutschland ausgeführt worden (Textfig. 107, 164, 188, 192, 193, 196, 198 u. 210, sowie Taf. I, Fig. 1 u. 2; Taf. II, Fig. 6 bis 8 u. Taf. III, Fig. 8 u. 9). Eine eigenartige und sinnreiche Ausgestaltung hat der Schwedler'sche Grundgedanke bei der großen, zweiflügeligen (Doppel-)Drehbrücke bei Lübeck erfahren (Taf. III, Fig. 15 bis 19); vergl. § 91.

Um während des Ausschwenkens ein Überkippen des kürzeren Brückenarmes durch Winddruck zu verhüten, findet man bei den ersten Ausführungen diametral entgegengesetzt vom Stützrade E noch die Stützrolle H (Textfig. 129) angebracht, die mit einem Spielraum über den Laufkranz läuft und beim Senken des kürzeren Armes in einen Einschnitt der Laufschiene fällt. Bei neueren Ausführungen (Textfig. 102, 183, 192, 194, 195, 196 u. 211) sind hauptsächlich bloß für seitlich wirkende Kräfte (Winddruck) Sicherheitsrollen angebracht, um seitliche Kippbewegungen der Brücke hintanzuhalten. Hierfür findet man aber auch ganz neu- und eigenartige Vorrichtungen, z. B. die Anordnung der Drehschemel bei der Taterpfahler Eisenbahn-Drehbrücke (Textfig. 185).

Zur Bestimmung der Höhenlage des Drehzapfens, der Auflager und sonstiger Teile bei der Montage dienen die Formeln in den §§ 30 u. 31 des Anhanges, in welchen, falls K ein konzentriertes Gegengewicht ist, $kc = K$ und $c = 0$ zu setzen ist.

Beispiele: a) Elbbrücke Hohnstorf (Textfig. 87). $f = f_1 = 18,8$ m, $l = 19,8$ m, $d = 3,6$ m, $K = 0,465$ t, $g = 1,3$ t und $p = 5,1$ t auf d. lfd. m Träger. Mittlere Trägheitsmomente für dm: Bei geschlossener Brücke für $AB: J = 216,16$ dm⁴ und für $BC: J_1 = 174,54$ dm⁴; bei geöffneter Brücke für $AD: J = 209,65$ und für $DC: J_1 = 183,04$ dm⁴. Hiernach ergeben die genannten Formeln die in Textfig. 88 zusammengestellten Ergebnisse:

Bezeichnung der Querschnitte, für welche die Einbiegungen berechnet sind	Die Brücke geschlossen, in A, B, C aufliegend			Die Brücke geöffnet, nur in D und E aufliegend. Belastung nur mit Eigengewicht
	beide Öffnungen nur mit g belastet	l mit $(g+p)$ und l mit g belastet	l mit $(g+p)$ und l mit g belastet	
	y in mm	y in mm	y in mm	
Mittellinie der Pendelaufleger A	—	—	—	37,2
„ des Stützrades E	1,4	12,1	—	—
„ der lotrechten Windewelle J (Textfig. 129, § 45)	0,15	10,1	—	—
„ des Drehzapfens D	0,2	2,3	—	—
„ des Mittelauflegers B	—	—	—	1,5
„ der Stützrolle gegen Kippen H	0,2	—	6,0	8,0
„ der festen Auflager C	—	—	—	82,1

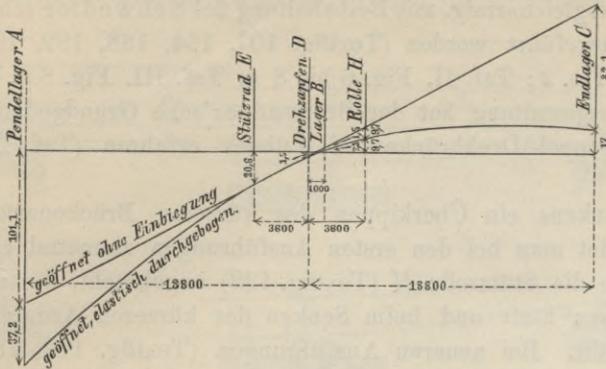
Diese Maße sind wie folgt zu verwerten: Nimmt man die Oberkante des Schienenlaufkranzes für das Stützrad 20,6 mm und den höchsten Punkt des Drehzapfens 1,5 mm unter der Wagerechten durch das Mittellager B an, so bleibt nach vollendeter Senkung des Brückenendes A zwischen dem Brückenende C und dem dortigen festen Lager noch ein Spielraum von $\frac{(20,6 - 1,5) 18800}{3600} - 1,5 - 82,1 = 17$ mm, was zum Ausschwenken vollständig genügt.

Die Gesamtsenkung des Armes DA in A beträgt daher:

$$37,2 + 1,5 + \frac{(20,6 - 1,5) 18800}{3600} = 138,3 \text{ mm.}$$

Verlangt man, daß hier noch ein Spielraum zwischen der Trägerunterkante und der Hebungsvorrichtung bei A im Betrage von z. B. 6,7 mm bleibe, so ist letztere Vorrichtung für den Gesamthub von $138,3 + 6,7 = 145$ mm zu konstruieren.

Fig. 88.



Infolge der Senkung des Drehzapfens um 1,5 mm hebt sich die Brücke beim Senken des Armes AB um $\left[\frac{(20,6 - 1,5) 1000}{3600} - 1,5 \right] - 1,5 = 2,3$ mm vom Mittelaufleger B ab, was ebenfalls zum Ausschwenken genügt. Da die geschlossene Brücke durch das Eigengewicht an der Drehzapfenstelle sich um 0,2 mm durchbiegt, so ist der Spielraum zwischen Zapfen und seiner Stahlpfanne = $1,5 - 0,2 = 1,3$ mm zu machen. Es wird freilich hierbei der Zapfen auch einen Teil der Betriebslast zu tragen haben, da bei Vollbelastung die Brücke sich hier um 2,3 mm durchbiegt. Doch ist dieser Druck wesentlich kleiner als derjenige, welchen der Zapfen bei ausgeschwenkter Brücke zu erleiden hat.

Die Sicherheitsrolle H mag beim Aufschwenken der Brücke mit 3,0 mm Spielraum über dem Schienenlaufkranz laufen. Die Höhe, um welche die Brücke beim Senken des Armes AD an der Rollenstelle abgehoben wird, beträgt 9,7 mm gegen die Wagerechte. Unter voller Belastung von BC beträgt dagegen die Einsenkung der geschlossenen Brücke 6,0 mm gegen die Wagerechte. Nimmt man als Spielraum zwischen Schienenlaufkranz und Sicherheitsrolle bei der größten Brückeneinbiegung 4,3 mm an, so bestimmt sich das Maß, um welches der Schienenkopf des Laufkranzes für das Einsinken der Rolle H eingeschnitten werden muß, zu $6,0 + 9,7 + 4,3 - 3,0 = 17$ mm.

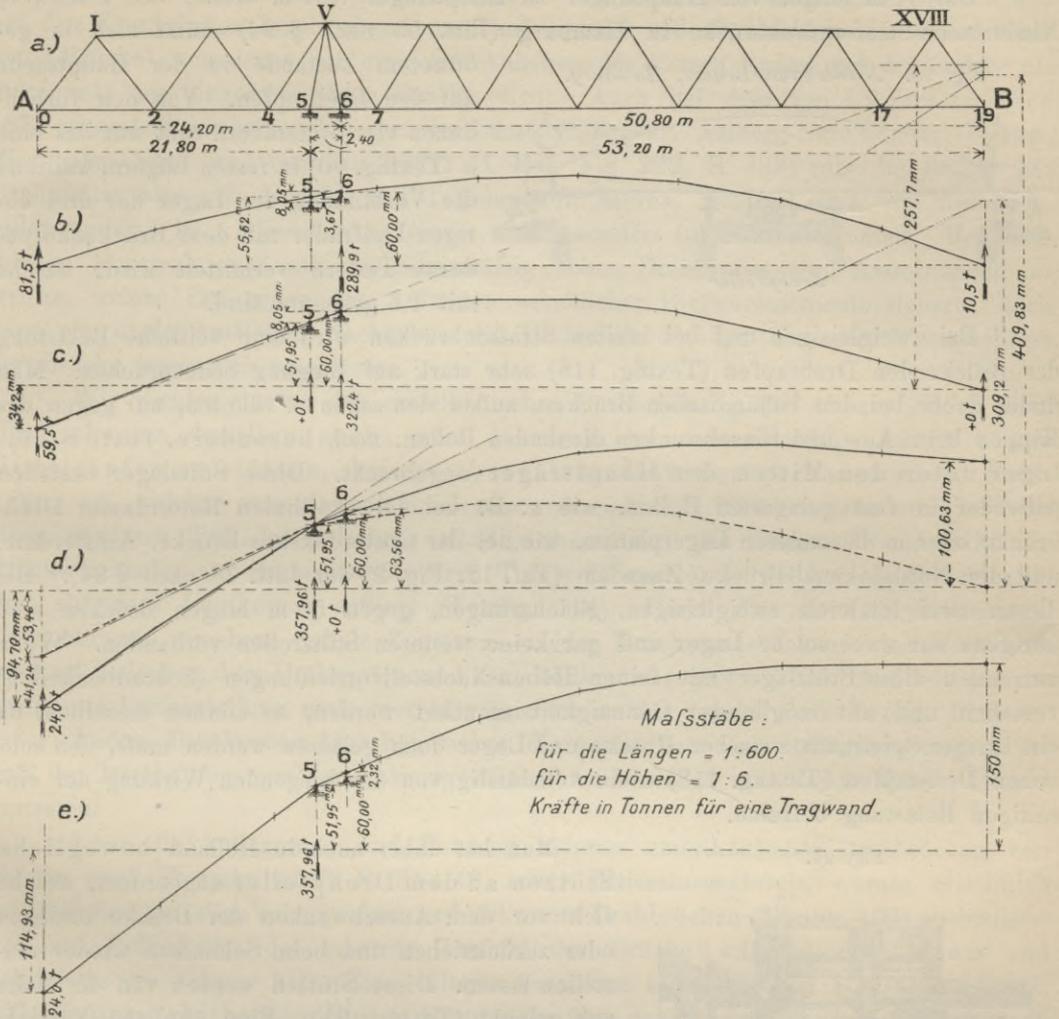
b) Drehbrücke Neuhoof (vergl. Textfig. 89 u. 188). $l = 24,20$ und $l_1 = 50,80$ m; $f = 21,80$ und $f_1 = 53,20$ m; $d = 2,40$ m. Bei größeren Drehbrücken mit stark wechselndem Trägheitsmoment, bzw. wechselnder Trägerhöhe führt die Einführung mittlerer Trägheitsmomente bei der Bestimmung des elastischen Verhaltens zu sehr ungenauen Ergebnissen (vergl. Fortschrittsheft S. 124); hierfür müssen bei gegliederten Fachwerken die Formänderungen aller Stäbe, auch der Ausfüllstäbe berücksichtigt werden (vergl. Textfig. 245 e; Anhang § 13); die Biegelinien ermittelt man hierfür mittels Williot'scher Verschiebungspläne¹²⁾, oder nach den von W. Ritter (Litt. 41 des Anhangs) oder Müller-Breslau (Litt. 38 des Anhangs) entwickelten Methoden (vergl. auch § 13 des Anhangs).

Nachstehende Textfig. 89 zeigt das den verschiedenen Höhenlagen der Stützen A , 5, 6 und B entsprechende Kräftespiel der Auflagerdrücke bei der Neuhofer Drehbrücke (Textfig. 188 u. Litt. 149 nach § 94). Bei geschlossener Brücke ist die Zwischenstütze (6) um 60 mm überhöht (Textfig. 89 b), während bei (5) ein Spielraum von 3,67 mm vorhanden ist. Wird nun die Endstütze A um 34,2 mm gesenkt, so wird das rechte Auflager B druckfrei (Textfig. 89 c), während bei Punkt (5) der Träger zum Aufsitzen kommt. Wird die Senkung der Endstütze A bis 94,7 mm fortgesetzt, so ist die Stütze (6) druckfrei geworden und das Ende B hat sich um 100,6 mm vom Auflager abgehoben (Textfig. 89 d). Wird nun die Endstütze A bis 114,9 mm gesenkt, wobei sich an der Verteilung der Stützendrücke nichts mehr ändert, wohl aber der Träger sich

¹²⁾ Handb. d. Ing.-Wissensch. II. Bd., 2. Abt. (3. Aufl.) 1901, S. 246.

von der Zwischenstütze (6) um 2,3 mm abhebt, so kann die Brücke um den Drehzapfen des Königsstuhles *K* (Textfig. 189 *b*) ausgedreht werden.

Fig. 89.



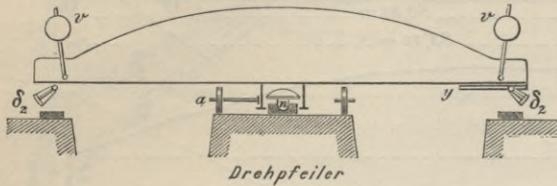
Bei vollwandigen Trägern mit stark veränderlichen Trägheitsmomenten führt der von Mohr gezeigte Weg, die Biegelinie als Seilpolygon darzustellen, zweckmäßig zum Ziel (vgl. § 13 des Anhangs, sowie S. 20 u. Taf. I, Litt. 38 u. Litt. 68 des Anhangs). Werden drei Stützräder $c_1 c_2 c_3$ (Textfig. 106) angebracht, so müssen dieselben, um sich gleichzeitig abzuheben, auf zwei verschiedenen Laufschiene sich bewegen, da die Verbindungslinie $c_1 c_2 c_3$ eine senkrecht auf die Brückenachse stehende Gerade sein muß.

Bei den neueren niederländischen und besonders den neuesten großen deutschen Drehbrücken ist der Grundgedanke der Lastübertragung auf den Drehzapfen noch strenger durchgeführt, insofern hier die ganze Brückenlast nur auf dem Zapfen (Königsstuhl) ruht und die etwa vorhandenen Rollen bloß ein seitliches Kippen der Brücke zu verhindern haben. Diese Rollen, der Zahl nach meist zwei oder vier, sind an den Haupt-, Quer- oder besonderen Zwischenträgern befestigt und laufen mit Spielraum auf einem am Drehpfeiler befindlichen Schienenkranze (Text-

fig. 189, 192, 193 d^1 , d^2 u. e^2 , 195, 196 u. 212). Zur Erzielung eines sanfteren Ganges der Brücke findet man die Rollen auch federnd gelagert, wie z. B. bei der zweigleisigen, gleicharmigen, 53,6 m langen Brücke über den Königshafen, Rotterdam.

Die 37 m lange, von Hauptträger zu Hauptträger 7,27 m breite, 300 t schwere Niederbaum-Strafsendrehbrücke in Hamburg (Litt. 55 nach § 94) stützt sich in ge-

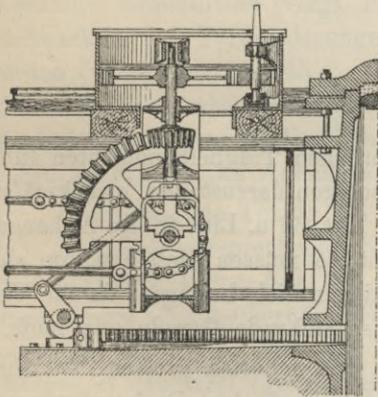
Fig. 90. Niederbaum-Brücke, Hamburg.



öffnetem Zustande in der Hauptsache auf den Drehzapfen. Von den vorhandenen vier Stützrädern ruht nur das eine a (Textfig. 90) in festen Lagern, während die Verbindung der Lager der drei übrigen Laufräder mit dem Brückenkörper durch Federn vermittelt wird, welche mit 7 t gespannt sind.

Bei zweigleisigen und bei breiten Strafsenbrücken wird eine seitliche Belastung der Brücke den Drehzapfen (Textfig. 118) sehr stark auf Biegung beanspruchen. Man findet daher bei den holländischen Brücken, aufser den schon erwähnten, nur gegen das Kippen beim Aus- und Einschwenken dienenden Rollen, noch besondere, feste Stützlager unter den Mitten der Hauptträger angebracht. Diese Stützlager bestehen entweder in fest gelagerten Rollen, wie z. B. bei der erwähnten Rotterdamer Drehbrücke oder in besonderen Lagerplatten, wie bei der Oosterdoksluis-Brücke, Amsterdam, und der Nordseekanal-Brücke, Zaandam (Taf. 12, Fig. 2° der Litt. 78 nach § 94). Bei diesen zwei letzteren zweigleisigen, gleicharmigen, gegen 50 m langen Brücken sind übrigens nur zwei solche Lager und gar keine weiteren Stützrollen vorhanden. Wenn nun auch diese Stützlager mit feinen Höhen-Nachstellvorrichtungen (Schraubenkeilen) versehen und mit möglicher Genauigkeit montiert werden, so können dieselben, da ein kleiner Spielraum zwischen Brücke und Lager doch gelassen werden muß, den sehr hohen Drehzapfen (Textfig. 118) nicht vollständig von der biegenden Wirkung der einseitigen Belastung befreien.

Fig. 91.



Man hat daher auch in Holland bewegliche Stützen an dem Drehpfeiler angeordnet, welche sich vor dem Ausschwenken der Brücke umlegen oder zurückziehen und beim Schließen wieder einstellen lassen. Diese Stützen werden von der Bahn aus gelenkt (Textfig. 91). Eine ähnliche Vorrichtung findet man bei der Drehbrücke des Rappersweiler Seedammes. Die beweglichen Stützplatten unter den Mitten der Hauptträger berühren die Auflagerplatten bei geschlossener unbelasteter Brücke ohne Druck, nehmen jedoch die Mehrbelastung durch die zufällige Last auf. Beim Öffnen und Schließen der Brücke werden sie um 5 mm durch schiefe Ebenen und Hebelvorrichtungen gesenkt bzw. gehoben.

Bei eingleisigen Eisenbahnbrücken und bei schmäleren Strafsenbrücken wurde vielfach die seitliche Unterstützung als wenig belangreich erachtet. Man findet daher derartige Brücken ganz ähnlich wie Krane an dem Drehzapfen hängend. Die von Buresch in der Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1874 beschriebene Huntebrücke (Textfig. 110) von 18 m Gesamtlänge besitzt weder Laufkranz noch Laufräder,

sondern ruht lediglich auf dem zuckerhutähnlichen Drehzapfen, gegen dessen unteren Umfang sich zur Verminderung der bis 0,4 m betragenden Schwankungen zwei Laufrollen *aa* lehnen. Der kurze Arm ist so beschwert, daß im offenen Zustande das freie Ende der Brücke hoch steht. *u* und *v* sind Keilmechanismen (ganz ähnlich den bei den Kranbrücken beschriebenen und auf Textfig. 215 abgebildeten der Georgsfehnkanal-Brücke), von denen der eine zum Anheben des kurzen Endes und der andere als Stützpunkt der eingeschwenkten Brücke dient. Auch bei dem von Lüders in Wien 1873 ausgestellt gewesenen Entwurf der Lüm fjord-Brücke, Aalborg-Nore Sundby (Rziha, Eisenbahn-Unter- und Oberbau 1877, II. Bd., Fig. 223, S. 488) ruht die Brücke am Drehpfeiler nur auf dem 7,5 m tief gelagerten Zapfen, welcher oben von Reibungsrollen umringt ist. Diese Lösung eignet sich besonders für Fahrbahn unten. Bei allen solchen Konstruktionen mit verhältnismäßig hohen Drehzapfen sind Anordnungen zu treffen, welche ihn gegen das Auftreten erheblicher Biegemomente sichern; auch kann ein ungleichmäßiges Nachgeben des Drehpfeiler-Fundamentes die Beweglichkeit der Brücke wesentlich erschweren.

Wir wenden uns zu den amerikanischen Drehbrücken. Bei vielen, jedoch nicht allzu schweren derselben sucht man die Last im wesentlichen durch einen Mittelzapfen zu stützen, bringt aber nichtsdestoweniger auch einen Rollkranz an, welcher entweder mit Spielraum von einigen Millimetern montiert wird oder einen gewissen Teil der Belastung ständig übernimmt. Zu diesem Zwecke ruht die Brücke zunächst auf einem ringförmigen Träger (Trommel) *a*, welcher als oberer Lauf ring auf dem Laufkranze aufliegt (Textfig. 114). Durch die mit Längenregelungs-Vorrichtungen versehene radiale Zugstange *a* oder Druckstange *b* kann eine Verteilung der Last zwischen dem Drehzapfen und dem Rollkranze erzielt werden. Auf eine genaue bestimmte Lastverteilung muß hierbei verzichtet werden (vergl. auch Textfig. 122).

Andere Brückenbau-Anstalten lassen die ganze Last vom Rollkranze tragen, so daß der Drehzapfen nur zur Führung dient. Auch findet man beide Konstruktionen vertreten.

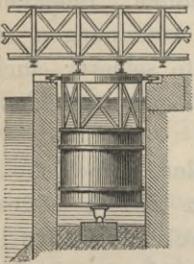
Über die Auflagerung und Führung neuerer amerikanischer Drehbrücken vergleiche auch Fortschrittsheft S. 31—43, sowie Litteraturnachweis, woraus ersichtlich ist, daß fast bei allen sehr großen und schweren Drehbrücken (Textfig. 103) ausschließlich ein Rollenkranz das gesamte Gewicht der Brücke während des Öffnens und Schließens zu tragen hat. Eine seltene Ausnahme bildet die von Morison gebaute, 107,3 m lange, gleicharmige Riparia-Drehbrücke über den Snakefluß (Fortschr.-Heft S. 36 u. Litt. 95 nach § 94), welche einen Königsstuhl mit Druckwasserhebekolben besitzt.

Während die meisten englischen Drehbrücken auf Rollkränzen laufen, sind in späterer Zeit von Armstrong & Co. einige Brücken ausgeführt worden, deren Stützung hauptsächlich vom Drehzapfen erfolgt. So werden bei der 1876 erbauten, 1200 t schweren Tyne-Brücke in New Castle 1100 t von dem als Druckwasserkolben konstruierten, sich also auf Wasser drehenden Zapfen getragen, während die übrigen 100 t auf den Rollkranz kommen. Hierbei bleibt der Zapfen immer in gleicher Höhe und wird nicht, wie bei den in § 40 beschriebenen Brücken gehoben. So auch bei der 1894 erbauten Barton-Kanaldrehbrücke (Textfig. 213), bei der 800 t auf den Drehzapfen und 800 t auf den Rollenkranz treffen (vergl. § 94 und Fortschrittsheft S. 26). Die 7 größeren ungleicharmigen Straßen-Drehbrücken über den Manchester-Schiffkanal, deren Gewicht zwischen 640 und 1800 t schwankt, sind sämtlich bloß mit Rollenkränzen, bestehend aus 60 bis 64 Stück konischen Rollen bei einem Leitbahndurchmesser von 6,96

bis 15,09 m, ausgestattet (Fortschrittsheft S. 25; Litt. 112 nach § 94). Die 732 t schwere Hawarden-Drehbrücke mit 42,70 m Weite und damit der größten Durchflußweite Englands, wird, mit Ausnahme des Mehrgewichtes des kurzen Armes von 15 t, beim Ausdrehen allein von einem lotrecht beweglichen Druckwasserkolben getragen, dessen Durchmesser 625 mm und Hubhöhe 218 mm beträgt. Zwei Leitrollen auf dem Drehpfeiler sichern die Brücke gegen Kippen (Wind) (vergl. Fortschrittsheft S. 24, Fig. 27 u. 28 und Litt. 80 nach § 94).

Fig. 92. Drehbrücke mit Wasserauftrieb, Dublin (nach Price).

M. 1 : 260.



Endlich mögen hier noch die von Price in den Spencer-Docks zu Dublin erbauten Strafsen-Drehbrücken mit einer Durchfahrt von 8,5 m Weite erwähnt werden (Textfig. 92), deren eiserner Überbau mittels eiserner Säulen von einer in einer Cisterne schwimmenden und seitlich geführten, hohlen, wasserdichten Tonne getragen wird. Im Mittelpunkte des unteren Bodens der zylindrischen Tonne befindet sich der in ein entsprechendes Lager am Zisternenboden eingreifende Stützapfen. Da jedoch der hydrostatische Auftrieb der Tonne 95 t und das Eigengewicht der Brücke nur 100 t beträgt, so kommen nur 5 t als Druck auf den Stützapfen.

Diese seit 1873 benutzten Brücken sollen sich bewährt haben. Der Erfinder macht auf die Billigkeit und Leichtigkeit der Gründung für den Drehzapfen aufmerksam, für welchen oft nur ein Schraubenpfahl genügen mag. Andererseits sind freilich die Wirkungen der Verkehrsstöße und der Einfluss des Frostes zu bedenken.

Derselbe Grundgedanke findet sich bei dem Entwurf einer 11,58 m breiten gleicharmigen Strafsendrehbrücke von je 18,29 m Lichtweite für eine australische Drehbrücke (Drehbrücke im Darling-Hafen bei Sidney, Fortschrittsheft S. 30, Fig. 36 u. Litt. 103 nach § 94).

Einen festen Drehzapfen mit eigenartigem Einbau zeigt die Strafsenbrücke über den Glamorganshire-Kanal. Die Sicherung gegen Kippen betätigen Führungsrollen, die durch Federn auch bei unbelasteter Brücke in steter Berührung mit der Laufbahn bleiben (Fortschrittsheft S. 30, Fig. 35 u. Litt. 94 nach § 94).

Die Auflagerung der neueren, insbesondere der großen deutschen Drehbrücken ist sehr mannigfaltig, aber allen gemeinsam ist die Anordnung des Trag-Drehzapfens (Königsstuhles), auf dem wenigstens während der Drehbewegung beinahe das ganze Gewicht der beweglichen Konstruktion ruht; die Anwendung von Trag-Rollkränzen findet man nicht, wohl aber die von Laufrädern bis zu 5 bis 7 t Tragkraft, welche die Kippbewegungen bei Windwirkung u. s. w. während des Drehens hintanzuhalten vermögen. Der Königsstuhl selbst ist mit einem festen (Textfig. 188, 189, 191, 192, 194, 195, 196 u. 199) oder einem lotrecht verschieblichen Drehzapfen (Textfig. 179, 183 u. 185) versehen. Aber auch im ersten Fall ist der eigentliche Drehzapfen meistens durch Keile nachstellbar eingebaut (z. B. Textfig. 192 u. 194), um die genaue gegenseitige Höhenlage der Auflager beim Aufstellen der Brücke scharf einhalten zu können. Allen Drehbrücken mit Königsstuhl ist ferner gemeinsam die Auflagerung der eingedrehten, betriebsfähigen Brücke auf drei Punkten, bei meist vollständiger Entlastung des Königsstuhles selbst. So ruhen im betriebsfähigen Zustand die Drehbrücken über den Nordostsee-Kanal (lotrecht beweglicher Drehzapfen) auf den festen Auflagern *A* (Textfig. 179 u. 181), den festen in der Querebene senkrecht zur Brückenlängsachse *C* (Textfig. 179) gelegenen Auflagern (Textfig. 183 *a* u. (*a*) in Textfig. 185) und den festen Auflagern *B* (Textfig. 179 u. 182), vergl. § 84. Als Beispiel einer Drehbrücke mit festem Drehzylinder diene die Neuhofer Drehbrücke, deren Auflagerung bei *A*, *C* u. *B* (Textfig. 188 u. 189) erfolgt. Für die zum Durchdrehen eingerichtete zweigleisige und

gleicharmige Eisenbahnbrücke bei Friedrichstadt finden sich deshalb sogar symmetrisch zum Königsstuhl die Auflager J_1 und J_2 (Fortschrittsheft S. 15, Fig. 18 *a* u. *b*) angeordnet. Weitere Auflageranordnungen über Drehpfeiler und deren konstruktive Ausgestaltung sind den Textfig. 192, Punkt (10); Punkt (6) in Textfig. 193 u. 194 *e*, u. *e*⁸; 195 *a*; 211 *a* u. *d*, Punkt (8), sowie den denselben beigegefügt Erläuterungen zu entnehmen.

Eine Ausnahme hiervon macht die Strafsen- und Eisenbahndrehbrücke im Industriehafen Mannheim, bei welcher absichtlich der Königsstuhl dauernd belastet bleibt (s. § 90).

Eine von den bisher besprochenen Anordnungen wesentlich abweichende Ausgestaltung des Drehzapfens und der zunächst gelegenen Auflager weist die 6,70 m breite und von Drehachse zu Drehachse 67 m lange Doppeldrehbrücke über den Hafen zu Tarent auf (Fortschrittsheft S. 47, Fig. 59 und Litt. 70 nach § 94). Der Königsstuhl *S* ist jederzeit druckfrei und bildet bloß die Führung der lotrechten Antriebswelle der Turbinenanlage. Weitere Angaben siehe auch in der Zusammenstellung nach § 94.

Bei zweiteiligen und ungleicharmigen Drehbrücken wird jede der beiden Brückenhälften gewöhnlich aufser durch den Drehzapfen noch durch Rollen an den Hinterenden gestützt (Textfig. 106 *a* u. *c*; 164 Rolle *D*; 178 *b*; 182 u. 120). Um den Drehzapfen bei geschlossener Brücke von dem Drucke der Verkehrslast möglichst zu entlasten, befinden sich in der Nähe der Widerlagerkanten entsprechende Zwischenlager für die Hauptträger (vergl. § 84, sowie Textfig. 108 Lager *B*; 112; 188 u. 189 Lager *C*; 195 u. 196; Fortschrittsheft S. 47, Fig. 59 *b*).

Ein anderes, hierher gehöriges Beispiel zeigt die Drehbrücke in Barrow-in-Furness (Textfig. 112), deren zwei für sich drehbare Flügel von je 116 t eine lichte Durchfahrt von 24,4 m überbrücken. Die Stützung jedes der $17 + 9,8 = 26,8$ m langen Flügel erfolgt auf dem Drehzapfen mittels Federn. Bei unbelasteter Brücke ruht das ganze Gewicht auf dem Drehzapfen und den am hinteren Ende angebrachten Rollen. Wenn jedoch die 9,44 m breite Eisenbahn- und Strafsenbrücke befahren wird, so biegen sich die Federn durch und die Hauptträger setzen sich auf die in etwa 3,8 m von dem Drehzapfen nach der Durchfahrtsöffnung zu gelegenen Lager.

§ 39. Freimachung der Brücke vor dem Aufdrehen. Heben und Senken der Trägerenden. Ist die geöffnete Brücke wieder eingeschwenkt worden, so können die infolge der Eigenlast der Brücke elastisch durchgebogenen Trägerenden in verschiedener Weise gelagert werden:

1. Bei amerikanischen Drehbrücken läßt man oft die Trägerenden beim Einschwenken einfach mit einem Spielraum von 1 bis 2 mm auf Rollen (Textfig. 93 *b*) auflaufen. Es leuchtet jedoch ein, daß solche Brücken von Verkehrsstößen sehr zu leiden haben.

2. Bei amerikanischen Drehbrücken werden meistens die Enden der durchlaufenden Hauptträger zwar nicht gehoben, aber doch in der durchgebogenen Stellung fest durch Keile, Excenter oder dergl. unterstützt (Textfig. 94 *a* u. *b* und Fortschrittsheft S. 29, Fig. 34). Da jedoch auch hierbei, wenn nur ein Arm einer gleicharmigen Drehbrücke von der Verkehrslast bedeckt ist, das Ende des unbelasteten Armes sich von seiner Stütze abhebt, um bei weiter vorgerückter Belastung sich wieder zu senken, so kann man auch in dieser Stützkonstruktion nicht die nötige Solidität und Betriebssicherheit erkennen. (Man denke an entgegengesetzt fahrende Eisenbahnzüge auf mehrgleisigen Brücken.)

Fig. 93 a bis c. Endauflagerung einer 53,35 m langen amerikanischen Eisenbahndrehbrücke. M. 1:70.

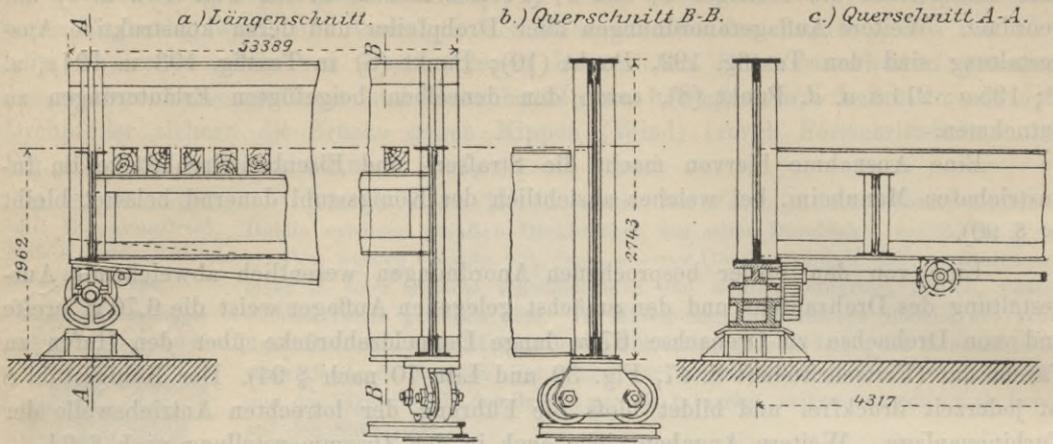


Fig. 94 a bis c.

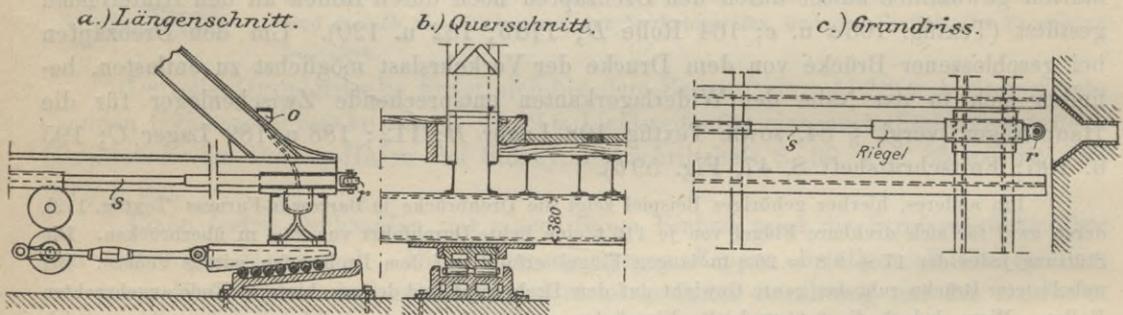
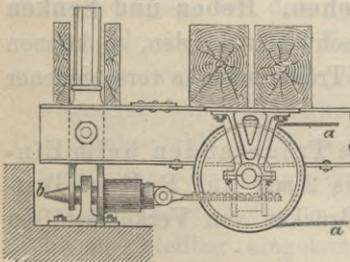


Fig. 95. Verriegelung der Drehbrücke zu Providence, N. A. M. 1:48.



3. Bei der Point-Street-Brücke in Providence (Textfig. 95) sind die eingeschwenkten Trägerenden in ihrer durchgebogenen Stellung festgeriegelt, sodass ein Abheben unmöglich ist.

4. Bei den meisten Brücken wird die elastische Durchbiegung der Hauptträger nach dem Einschwenkenganz oder teilweise rückgängig gemacht und zwar α) bei fester Auflagerung der Drehachse durch Anheben der Trägerenden und β) bei lotrecht beweglicher Drehachse durch deren Senkung. Bei kleineren Brücken wird man die ganze elastische Einbiegung aufzuheben trachten; bei großen und schweren wird oftmals bloß ein Teil der gesamten Einbiegung rückgängig gemacht, wodurch an Zeit- und Arbeitsaufwand beim Öffnen und Schließen erheblich gespart wird (vergl. z. B. die Drehbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal, § 84 und die Neuhofer Drehbrücke, § 85). Als Beispiele der in mannigfaltiger Weise ausgeführten Anordnung α) siehe: Textfig. 63, 94, 106, 119, 129, 130, 195, 208 und Fortschrittsheft S. 15, Fig. 18 c bis f, Fig. 19 a bis h; S. 20, Fig. 22 c u. d; S. 29, Fig. 34; S. 35, Fig. 45; S. 36, Fig. 46, S. 45, Fig. 58 g u. h. Beispiele der Anordnung β) siehe Textfig. 107, 179, 183 u. 185 sowie Fortschrittsheft S. 12, Fig. 14 u. 15; S. 22, Fig. 25; S. 45, Fig. 58 f. (Näheres über hier einschlagende Rechnungen siehe §§ 70 bis 73.) Es ist jedoch zweckmäßig,

die Hebungsvorrichtung derart zu bemessen, daß sich erforderlichenfalls die ganze elastische Durchbiegung der Trägerenden wegnehmen läßt.

Selbstverständlich muß bei Berechnung der durchlaufenden Hauptträger auf die Höhenlage ihrer Stützpunkte besondere Rücksicht genommen werden (vergl. §§ 70 bis 73). Ebenso ist in manchen Fällen auf eine ungleichmäßige Erwärmung der Brücke, besonders der beiden Gurte, durch die Sonne (vergl. § 74) Bedacht zu nehmen, da Fälle bekannt sind, daß infolge der durch einen wärmeren Obergurt bedingten Krümmung der Träger die Drehbrücken nicht auf- bzw. zuge dreht werden konnten (41,8 m lange Brücke der Philadelphia Wilmington und Baltimore Eisenbahn; Missiessy-Brücke in Toulon). Als Schutz hiergegen empfiehlt sich Holzverkleidung des der Sonne ausgesetzten Gurtes oder möglichst heller Anstrich der Eisenkonstruktion.

Jedenfalls ist es bei Berechnung der Hauptträger empfehlenswert, die inneren Kräfte in denselben nicht nur für die vorschriftsgemäße, sondern auch für größere oder kleinere Hebungen zu bestimmen und die hierfür erhaltenen Ergebnisse dem Entwurf zu Grunde zu legen.

5. Bekannt ist die Abhängigkeit der nach der Theorie der durchlaufenden Träger erhaltenen Ergebnisse nicht nur von der Höhenlage der Stützen, sondern auch von der Veränderlichkeit der Querschnitte, von der Größe der Elastizitätsziffer, von der Aufstellungsweise, wodurch den Rechnungsergebnissen bis zu einem gewissen Grade Unzuverlässigkeit anhaftet. Herschel in Boston hat daher den Vorschlag gemacht, die Trägersauflager derart nachstellbar einzurichten, daß man bestimmte, beliebig gewählte Stützendruckgrößen mit Sicherheit erzeugen kann.¹³⁾ Eine solche Konstruktion ist u. a. bei der Mississippi-Brücke bei Keokuk (Litt. 21 nach § 94) zu finden, wo die Trägerenden mit Hilfe von Wasserdruckpressen gehoben werden, bevor die nur zur Stützung dienenden Keile darunter kommen (vergl. auch Eymers, Over het stellen van door gaande brugliggers. Tijdschr. van het koninkl. Inst. van Ing. 1875/76, S. 327). Ein einfaches Zusammenarbeiten der als Winkelhebel ausgebildeten Endhebevorrichtung und des als Keil-Rollenlager wirkenden Endauflagers für die betriebsfähige Brücke gewährleistet die für die Rheinhafen-Drehbrücke in Mannheim (Textfig. 210) von der Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg gewählte Anordnung (Fortschrittsheft S. 20, Fig. 22 *c* bis *f*).

Die Vorrichtungen zum Heben der Trägerenden findet man bei vielen gleicharmigen Drehbrücken an beiden Enden angebracht. Um hierbei an Bedienungsmannschaft zu sparen und eine einheitliche übersichtliche Bedienung der gesamten Bewegungsvorrichtungen zu erhalten, ist es bei größeren Brücken zweckmäßig, die Hebungsvorrichtungen an dem beweglichen Überbau selbst anzubringen und dieselben vom Drehpfeiler aus durch geeignete Transmission (bei neueren Brücken meist Wellen, Textfig. 86, S. 91, oder auch Zugstangen, bei Druckwasser- oder Druckluft-Vorrichtungen: Röhren) bewegen zu lassen (Textfig. 94, 102 u. 195; Fortschrittsheft S. 20, Fig. 22 *c*, S. 28, Fig. 33; S. 32, Fig. 39; S. 35, Fig. 45; S. 36, Fig. 46 *a* bis *c* und S. 38, Fig. 49 *b*.)

Bei den Drehbrücken nach Schwedler ist die Hebungsvorrichtung nur an dem schwereren Ende *A* (Textfig. 87, S. 92) erforderlich. Es ist einleuchtend, daß, um die Hauptträger beim Schließen in den Zustand eines auf drei gleich hohen Stützen

¹³⁾ Das Abwägen der Auflagerdrücke durchlaufender Balken ist nach Benders Bemerkung in dem Journ. of the Amer. Soc. of civ. eng. von Sternberg am Karlsruher Polytechnikum schon 1867 vorgetragen worden.

A, *B*, *C* gelagerten Balkens zu bringen, man das Ende *A* zunächst mit nur sehr geringer Kraftanstrengung so weit zu heben hat, bis das Ende *C* sein Lager berührt, dann aber noch eine Hebung vornehmen muß, die doppelt so groß wie jene ist, welche man zu bewerkstelligen hätte, wenn die Hebungsvorrichtungen in *A* und *C* angebracht wären und die Brücke von dem Zapfen *D* allein getragen würde.

Auch bei der 54,5 m langen Drehbrücke über den Königshafen, Rotterdam befindet sich die eigentliche Hebungsvorrichtung nur an dem einen Ende (Taf. 11, Fig. 1^{a-d} der Litt. 78 nach § 94). Da jedoch hier beide Arme der Brücke gleich schwer sind, so bringt man das andere Ende der Brücke dadurch in die Höhe, daß man dasselbe beim Zudrehen der Brücke mittels des entsprechend abgebogenen Untergurtes der letzten Quer-Verbindung auf die Lagerrollen auflaufen läßt. In geschlossenem Zustande ruht die Brücke auf Stützzapfen, wobei die Rollen entsprechende Vertiefungen in der Auflauf-platte finden. Ähnlich ist auch die Auflauf-Vorrichtung bei der 51,5 m langen zweigleisigen Drehbrücke über die Zaan bei Zaandam (Taf. 12, Fig. 2 der Litt. 78 nach § 94) und über den Noord-Hollandsch-Kanal bei Purmerend (Taf. 14, Fig. 9 der Litt. 78 nach § 94). Doch befinden sich hier die Laufrollen an den Hauptträgern des beweglichen Überbaues, während die entsprechende Laufschiene an dem Endpfeiler angebracht ist. An den Stellen, wo die Laufrollen bei eingeschwenkter Brücke auf der Laufschiene stehen, ist letztere mit versenkbaaren Stücken versehen, die durch Hebel mit Gegengewichten nach oben gegen die Laufrollen gedrückt werden.

Bei der zum Durchdrehen eingerichteten, 54 m langen zweigleisigen Drehbrücke über die Eider bei Friedrichstadt befindet sich ebenfalls an beiden Endquerträgern je eine mittels Windebock betriebene Hebe- und Stützvorrichtung, unabhängig von der über dem Drehpfeiler befindlichen Drehvorrichtung (Fortschrittsheft S. 15, Fig. 18 *c* bis *f* und Litt. 88 nach § 94).

Bei den meisten neuen großen amerikanischen gleicharmigen Drehbrücken (z. B. der 158,5 m langen Interstate-Drehbrücke, der viergleisigen 118,6 m langen Drehbrücke über den Harlem-Fluß in New York u. s. w., s. Fortschrittsheft S. 31 bis 38) erfolgt die Hebung der Endstützen maschinell von der im Pfeilerfach der Eisenkonstruktion eingebauten Maschinenanlage aus. Da diese Fachwerksträger auch im eingedrehten Zustande über Drehpfeiler fast ausschließlich auf einem Rollenkranz lagern, empfiehlt es sich, sie als durchlaufende Träger mit Querkraft-Nullfeld im Pfeilerfach auszustatten. Dadurch wird eine sehr günstige Lastverteilung auf den Rollenkranz erzielt, ohne daß man deshalb die Endhebevorrichtungen erheblich kräftiger als ohne Anordnung eines Querkraftnullfeldes ausführen müßte (Fortschrittsheft S. 116, Gleichung 37 u. Beispiel).

Ungleicharmige Brücken mit festen Drehzapfen erhalten meist nur an dem kurzen Ende den Hebungsmechanismus (Textfig. 106, 188, 195, 196 u. 210, sowie Fortschrittsheft S. 17, Fig. 19; S. 20, Fig. 22 *c* bis *d*; S. 45, Fig. 58 *g*; S. 47, Fig. 59).

Bei Doppeldrehbrücken ist die Hebungsvorrichtung stets am kurzen Brückenende angeordnet; gleichzeitig ist letzteres auch meist in geeigneter Weise am Widerlager verankert, um im betriebsfähigen Zustand negative Auflagerkräfte aufnehmen zu können. Die bei 35,04 m Lichtweite 85,04 m lange Strafsen-Doppeldrehbrücke in Cleveland (Fortschrittsheft S. 41, Fig. 55) kann nach Entriegelung des Stosses in Brückenmitte und der Enden der beiden an die Widerlager anschließenden kurzen Brückenarme ausgedreht werden. Nach wieder erfolgtem Eindrehen werden die Enden der letzteren durch einen mit kugelförmigen Endflächen versehenen Kniehebel etwas an-

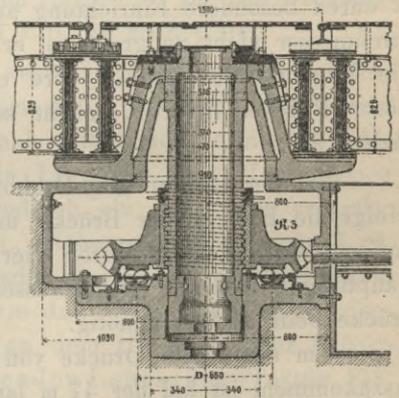
gehoben und, in der Endstellung angelangt, gleichzeitig verriegelt. Sind nun auch von der über dem Zwischenpfeilerfach eingebauten Maschinenanlage aus, welche auch die Kniehebel bewegt, beide Hälften verriegelt, so ist die Brücke betriebsfähig (Fortschrittsheft S. 40 und Fig. 55 u. 56). Für gleiche Reihenfolge der Arbeitsvorgänge, aber in erheblich anderer Ausführung ist die Endhebevorrichtung und die Verankerung der Herrenbrücke bei Lübeck angeordnet (siehe die Einzelheiten Taf. III, Fig. 15 bis 18 und Textfig. 208, sowie § 91).

Eine Verriegelung beider Flügel an der Stoszfuge einer Doppeldrehbrücke ist stets nötig; am besten und dauerhaftesten wird jene Konstruktion wirken, bei der die Entstehung eines toten Ganges möglichst erschwert wird. Verschiedene derartige Anordnungen zeigen die Drehbrücke in Brest (Litt. 11 nach § 94), die Drehbrücke in Tarent (Fortschrittsheft S. 47, Fig. 59), die Drehbrücke in Cleveland (Fortschrittsheft S. 41, Fig. 55a und S. 42, Fig. 56b u. c), bei welcher der Zapfen einem nicht unerheblichen Biegemoment ausgesetzt erscheint, und die Herrenbrücke bei Lübeck (Taf. III, Fig. 15 bis 18 und Textfig. 203 bis 205 u. 207). Bei letzterer sichert ein Rollenscheitelgelenk (Textfig. 203 u. 205) eine ziemlich stoffs freie und genaue Verbindung beider Brückenflügel, bevor der Hauptriegel (Textfig. 207) eingeschoben wird.

§ 40. Drehbrücken mit beweglichem Drehzapfen. Wie bereits erwähnt, hat man auch, anstatt die Brücke vor dem Aufdrehen durch Senken der Endstützen frei zu machen, das entgegengesetzte Hilfsmittel angewandt und den Drehzapfen als Mittelstütze zum Heben eingerichtet. Die erforderliche mechanische Arbeit ist zwar im letzteren Falle wesentlich größer, da die Stützendrücke bei gleicharmigen Drehbrücken sich verhalten wie: $B : (A + C) = \frac{5}{8} : 2 \cdot \frac{3}{16}$, doch bietet die Anordnung eines beweglichen Stützzapfens auch mancherlei Vorteile.

Ein Beispiel zeigt die Canal grande-Brücke in Triest (Ing. v. Mauser 1857, Textfig. 96), welche sich durch Einfachheit der Konstruktion und besonders der Bedienung auszeichnet. Gesamtgewicht 48,7 t, wovon 18,4 t Schmiedeisen. Die Schraubengänge des 0,4 m starken Drehzapfens greifen in eine Mutter ein, welche vom Pfeiler aus mittels des Vorgeleges gedreht werden kann. Hierbei hebt sich der Zapfen mit der Brücke, ohne sich zu drehen, so lange, bis der Reibungswiderstand an den Endstützen kleiner als der in den Zapfenschraubengängen geworden ist. Die fortgesetzte Drehung des Vorgeleges bewirkt ein Schwenken der Brücke um 90°, worauf letztere anstößt und durch ferneres Drehen am Vorgelege noch um so viel gehoben werden muß, daß beim Zurückdrehen die Trägerenden mit nötigem Spielraum über ihren festen Lagern anlangen. Nach Schluß der Brücke bewirkt ein fortgesetztes Rückdrehen die vollständige Senkung auf die Auflager und Entlastung des Drehzapfens.

Fig. 96. Brücke über den Canal grande, Triest. Lotrecht beweglicher Drehzapfen mit Kugelkranz. M. 1 : 48.



In neuester Zeit ist diese Brücke umgebaut worden, sodafs sie nicht nur für Strafsen- und Pferdebahn-, sondern auch für gewöhnlichen Eisenbahnverkehr dient. Infolge der Verstärkungen ist das Gewicht des Eisens von 48,7 t auf 114 t gestiegen. Vorstehende Figur zeigt den nunmehrigen Quer-

schnitt. Hierbei ist aber, um die gleitende Reibung zwischen dem Schneckenrade R_3 und der Fundamentplatte des gußeisernen Kastens durch rollende Reibung zu ersetzen, nach dem System Weickum eine Stützung auf einen Kugelkranz zur Anwendung gekommen.

Seit den sechziger Jahren wendet Armstrong Wasserdruck sowohl zum Heben als auch zum Drehen der Brücke an (Regent Canal-Brücke 450 t, Zapfen 1,47 m Durchmesser, Druck 56,24 kg f. d. qcm; Millwalldocks-Brücke 500 t; Brücke im Woolwicher Arsenal 410 t).

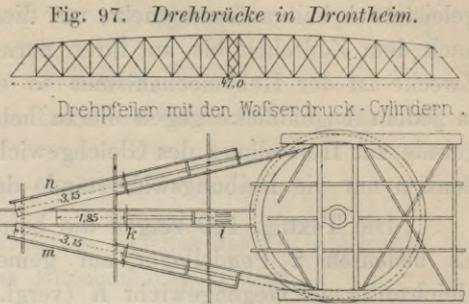
Die Brücke für zwei Eisenbahngleise und StraÙe am Bassin Joliette, Marseille, von 42,9 m Länge, 21,3 m Lichtweite und 8 m Breite dient für unbemastete Schiffe als Klapp-, für bemastete als Drehbrücke (Textfig. 121). In ersterem Falle wird dieselbe mittels des 2 m langen, 0,85 m starken Zapfens derart um 0,9 m gehoben, daß eine Planieneigung von 68 mm f. d. m entsteht. In letzterem Falle erfolgt vor dem Drehen eine Hebung des Zapfens von nur 0,2 m, wobei sich der kurze Brückenarm auf zwei hintere, gewöhnlich entlastete Laufrollen mit einem Druck von je 5 t auflegt. Den Kraftsammlern im Dock wird für gewöhnlich auf 52 Atm. geprefstes Wasser entnommen. Jedenfalls wäre es zweckmäßiger gewesen, die Brücke als reine Drehbrücke auszubilden. Der ziemlich verwickelte Bewegungsmechanismus wäre erheblich vereinfacht worden und zum Drehen der Brücke nicht mehr Zeit als zum Heben und Senken bei guter Einrichtung der Druckwasser-Bewegungsvorrichtungen nötig.

Noch größer ist die Druckwasser-Drehbrücke an dem Bassin national, Marseille (Textfig. 106) für Eisenbahn- und StraÙenverkehr. Vorderarm 38,4 m, Hinterarm 23,6 m lang; 3 Hauptträger. Gesamtgewicht 750 t. Der kastenförmige Hauptquerträger a ruht auf dem 58 cm starken Zapfen E , welcher mittels des Stückes r durch die Reibungsrollen ii (Textfig. 106) geleitet, sich in dem schmiedeisernen Zylinder F von 16 mm Wandstärke bewegt und die Brücke um 15 cm heben kann. Hierbei erhält der Zapfen 685 t, jede der drei Laufrollen c_1, c_2, c_3 je 5 t Druck. Bei geschlossener Brücke werden letztere Rollen durch Anheben des kurzen Brückenendes mittels kleiner Druckwasserpumpen d_1, d_2, d_3 entlastet. Der verfügbare Druck der Hafen-Pumpanlage von 52 Atm. ist durch besondere Einrichtung auf 270 Atm. erhöht, um den erforderlichen Zapfendurchmesser nicht zu groß zu erhalten (vergl. dagegen oben Viktoria-Brücke, Leith). Die Drehung der Brücke wird ebenfalls durch Wasserdruck bewirkt. Der Erbauer dieser Brücke, Barret, macht selbst verschiedene Verbesserungsvorschläge (Litt. 35 nach § 94).

Bei der Raritan Bay-Drehbrücke (Textfig. 122) bei Amboy, New Jersey (450 t) erfolgt die Hebung der Brücke um 10 cm vor der Drehung, nicht durch den Drehzapfen selbst, sondern durch vier auf dem Drehpfeiler unter den vier Vertikalen der Hauptträger stehende Druckwasserpumpen. Diese Anordnung macht das Kippen der Brücke beim Heben unnötig.

Um mit einem Drucke von 5 bis 7 Atm., wie ihn die Stadtwasserleitung bietet, auszukommen, ist bei der 47 m langen Eisenbahndrehbrücke in Drontheim (Textfig. 97) eine Hebelübersetzung zur Anwendung gekommen. Die mit dem eisernen Überbau fest verbundene und nach unten sich erstreckende Drehsäule endigt unten in eine umgekehrte Pfanne. Letztere ruht lose auf einem Zapfen, welcher im Ruhezustande die Brücke nicht trägt. Beim Anheben des Drehzapfens wird die Brücke von allen vier Auflagerplatten an den Endpfeilern, sowie von den Unterlagsplatten unter dem Kranzträger am Drehpfeiler abgehoben und das ganze Gewicht lastet nunmehr auf dem Drehzapfen. Gewöhnlich wird die Brücke um 2 cm (größte Hubhöhe 5 cm) mittels des Wasserdruck-

kolbens k gehoben. Die Drehung der Brücke erfolgt dann durch die Wasserdruckkolben in den Wasserdruckzylindern m und n und die um den Drehpfeiler laufenden Ketten. Die beiden Zylinder m und n sind auf einem wagerechten Eisengerippe gelagert, das seitwärts auf einem Holzunterbau ruht, welcher in der Stromrichtung neben dem Pfeiler steht.



Eine neuere sehr einfache Anordnung eines durch Hebelvorrichtung hebbaren Drehzapfens besitzt die ungleicharmige, 38,6 m lange und mit Fußringen 8,74 m breite Strafsendrehbrücke im Hafen von Ruhrort (Textfig. 107, S. 111) mit Druckwasserbetrieb, bis 35 Atm. Überdruck, der von einem mittels zweipferdiger Gaskraftmaschine gespeisten Kraftsammler geliefert wird (vergl. Fortschrittsheft S. 18 mit Fig. 20 u. 21 u. Litt. 121 nach § 94).

Bei der 70,5 m langen, 7,74 m breiten und über 800 t schweren Pollet-Drehbrücke in Dieppe (Fortschrittsheft S. 44, Fig. 58) kann der Prefswasserkolben des Königsstuhles bei 50 Atm. Druck allein nicht die ganze Last von 810 t tragen. Am kurzen Schwanzende befinden sich deshalb noch 2 lotrechte Wasserdruckkolben, die sogenannten Schaukelpressen. Soll die Brücke ausgedreht werden, so werden die Kolben der Schaukelpressen und des Königsstuhles um einige Millimeter gehoben, die Auflagerkeile am kurzen Schwanzende gezogen und die Ablassventile obiger drei Kolben geöffnet. Der Königsstuhlkolben, unfähig die ganze Last zu tragen, sinkt auf seine tiefste Stelle und gleichzeitig wippt die Brücke um den Querzapfen am Kolbenhaupt des Königsstuhles nach hinten, weil das Druckwasser aus den Kolben der Schaukelpressen inzwischen, infolge des am kurzen Arm angebrachten Ballastes aus Gußblöcken im Gewicht von 243,5 t, entweicht. Die lotrechte Hebung des Zentralkolbens am Königsstuhl beträgt bloß 15 mm. Die Brücke kostete 429500 M., wovon 155200 M. auf den Mechanismus treffen. Weiteres siehe Fortschrittsheft S. 44 und Litt. 93 nach § 94.

Die eben beschriebenen Brücken erfordern sehr verwickelte Bewegungsmechanismen, weil sie für Heben und Drehen getrennt angeordnet sind. Diese Übelstände sind bei den großen Drehbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal vollkommen vermieden. Als fernerer großer Vorzug der letzteren muß auch die Lagerung aller Mechanismen auf der Eisenkonstruktion selbst bezeichnet werden, wodurch ein vollständig zentraler Betrieb mit allen Vorteilen eines solchen ermöglicht ist. Näheres hierüber siehe § 84.

Während bei den beschriebenen Brücken entweder Vorder- oder Hinterarm gleich schwer ausgeführt sind oder der hintere Arm das Übergewicht hat, so daß in letzterem Falle, beim Heben des Zapfens, die an dem Hinterende der Brücke angebrachten Laufrollen sich auf einen entsprechenden Laufkranz (Textfig. 178, 179 u. 182) aufsetzen, findet man bei manchen älteren Brücken in den Docks zu London, Liverpool, Glasgow, Birkenhead und a. a. O. eine der zuletzt erwähnten entgegengesetzte Anordnung, die bei neueren Brücken unseres Wissens nicht mehr zu finden ist.

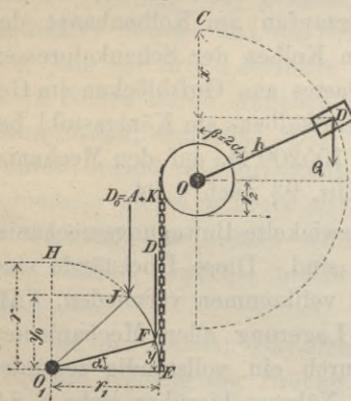
§ 41. Vorrichtungen zur Arbeitsverminderung beim Heben der Brücke vor bzw. nach dem Ausschwenken. J. W. Schwedler hat zuerst eine Vorrichtung angewandt, welche dazu dient, die beim Senken der Trägerenden vor dem Aufdrehen

geleistete Arbeit aufzusammeln, um dieselbe wieder auszunutzen, wenn die Trägerenden nach dem Zudrehen bis zu ihrer normalen Höhe gehoben werden sollen. Zu diesem Zwecke ist der Hebemechanismus so eingerichtet, daß der von demselben selbsttätig in jedem Augenblicke gegen die zu hebende oder zu senkende Brücke ausgeübte Druck gerade zur Herstellung des Gleichgewichtes genügt. Es bleiben dann beim Heben oder Senken nur die Reibungswiderstände des Mechanismus zu überwinden übrig.

Die Textfig. 129 zeigen die betreffende Vorrichtung an der Hohnstorfer Brücke. Es bedeuten π Pendellager auf gemeinschaftlicher Achse μ . Diese Pendel dienen gleichzeitig als Gegengewicht K (vergl. Textfig. 87, S. 92) und werden vor dem Ausschwenken der Brücke umgelegt, zu welchem Zwecke das Brückende mit dem Hebezeuge etwas angehoben werden muß. ν sind um σ drehbare Hebungsexcenter mit Reibungsrollen λ aus Stahl mit Gufsstahlbolzen x . Diese Excenter stehen mittels Ketten- oder Zahnradübersetzung mit den um O drehbaren Gegengewichten Q in Verbindung, und zwar beträgt das Übersetzungsverhältnis 1:2. Das Gegengewicht Q wird mittels der Räder $A_1 A_2 A_3$ durch die Kraft eines Arbeiters (15 kg) bewegt. Die Gegengewichte ω endlich an den Excentern dienen zum strafferen Anspannen der Zugketten, mittels welcher die Excenter bewegt werden, da das Drehmoment des Excentergewichtes allein hierzu nicht ausreicht.

Zunächst ist zu beweisen, daß diese Vorrichtung wirklich den oben ausgesprochenen Bedingungen genügt. Macht man $r_1 = 2 r_2$ (Textfig. 98), so entspricht dem Drehungswinkel $EO_1F = \alpha$ des Excenters ein Drehungswinkel $COD = \beta = 2\alpha$ des Gegengewichtes Q . Ist nun bei der Gesamthebung y_0 der Druck auf das Excenter = D_0 ,

Fig. 98.



so ist bei einer beliebigen Hebung y des Brückendes der entsprechende Druck $D = D_0 \frac{y}{y_0}$ zu setzen, oder da $D_0 = A + K$ (vergl. Textfig. 87 a, S. 92) ist, $D = (A + K) \frac{y}{y_0}$. Für Gleichgewicht ist nun bekanntlich erforderlich, daß nach dem Grundsatz der virtuellen Arbeit $D dy = Q dx$ ist. Oder da $x = h - h \cos \beta$; $y = r \sin \alpha$, also $dx = h \sin \beta d\beta$, $dy = r \cos \alpha d\alpha$, so muß sein:

$$(A + K) \frac{r \sin \alpha}{y_0} \cdot r \cos \alpha \cdot d\alpha = Q \cdot h \sin \beta d\beta,$$

oder

$$Q = \frac{(A + K)r^2}{4 h y_0} \cdot \frac{\sin 2\alpha \cdot d(2\alpha)}{\sin \beta \cdot d\beta}.$$

Soll nun Q unverändert bleiben, so muß eben, wie geschehen ist, $\beta = 2\alpha$ gewählt werden. Es wird dann

$$Q = \frac{(A + K)r^2}{4 h y_0} \dots \dots \dots a)$$

Die erforderliche Hubhöhe des Excenters berechnet sich nach Gl. 162 und 165 des Anhanges. Setzt man der Einfachheit halber voraus, daß das Gegengewicht K in A als Einzellast wirkt, so ist in jenen Gleichungen $kc = K$; $c = o$; ferner mit Bezug auf Textfig. 87 a, S. 92 $a_1 = f - d = l(\varphi - \delta)$; $a_2 = l\delta$ und $n = f = \varphi l$ zu setzen. Man erhält für die elastische Senkung d_1 des Punktes A aus Gl. 162 des Anhanges für $x = 0$

$$EJd_1 = \left\{ \frac{1}{8} gl[\varphi^3 - \frac{1}{3}(6\varphi^2 - 4\delta\varphi + \delta^2)\delta] + K \frac{1}{3}(\varphi - \delta)^3 \right\} \varphi l^3 \dots b)$$

und als elastische Senkung d_2 des Punktes C nach Gl. 165 für $x_1 = 0$ und $f_1 = \varphi_1 l$

$$EJd_2 = \left\{ \frac{1}{8} gl[\varphi_1^3 + \frac{1}{3}(6\varphi^2 - 4\delta\varphi + \delta^2)\delta] + K \frac{1}{3}(\varphi - \delta)^2 \right\} \varphi_1 l^3 \dots c)$$

Soll sich demnach das Ende C von seinem Lager abheben, so muß das Trägerende A um mindestens

$$\frac{(d_2 + s)f}{f_1} + s + d_1 \dots d)$$

gesenkt werden können, worin s das Maß bedeutet, um welches der höchste Punkt des Drehzapfens D unter der Wagerechten durch das Mittelauflager B liegt.

Beispiel. Hohnstorfer Brücke: $f = f_1 = 18,8$ m; $d = 3,6$ m; $g = 1300$ kg f. d. lfd. m Träger; $K = 465$ kg; Mittelwert für AD : $J = 2096500$; Mittelwert für DC : $J_1 = 1830360$ f. d. cm; $E = 1800000$ kg f. d. qcm. Hiernach aus Gl. b): $d_1 = 37,2$ mm und aus Gl. c): $d_2 = 82,1$ mm.

Da hier $s = 1,5$ mm angenommen worden ist, so folgt als erforderliche Gesamtsenkung von A aus Gl. d): $(82,1 + 1,5) + 1,5 + 37,2 = 122,3$ mm. Des nötigen Spielraumes halber und mit Berücksichtigung der Höhenlage des Stützrades E (Textfig. 88) hat man 145 mm angenommen.

Der Excenterhalbmesser r (Textfig. 98) muß größer als die Gesamthebung y_0 angenommen werden, um die Pendel π (Textfig. 129) ein- und ausschwenken zu können.

Beispiel. Hohnstorfer Brücke. Nach S. 93 ist $y_0 = 138,3$ mm. Dagegen ist $r = 148$ mm gemacht. Daher Drehungswinkel $EO_1J = \max \alpha = \arcsin \frac{138,3}{148} = 69^\circ 15'$. Dagegen angenommen, daß die Excenter bis $\alpha = 74^\circ$ gedreht werden. Dann beträgt der Spielraum zwischen π und ρ gegen 3 mm.

Die Bewegungsvorrichtung für das Hebezeug besteht in Textfig. 129 aus dem Rädervorgelege $A_1 A_2 A_3$. Abweichend hiervon ist die Anordnung bei der Kahnfahrt-Brücke der Berlin-Stettiner Bahn (Litt. 47 nach § 94), bei welcher ein doppeltes Vorgelege mit Kurbel zur Anwendung gebracht worden ist, wodurch auf Kosten der Zeit der Kraftaufwand wesentlich gemindert wird. Für die Kahnfahrtbrücke berechnet sich der Kraftaufwand an der Kurbel auf 25,4 kg, der von 2 Mann leicht geleistet werden kann. Die Abwicklung des Getriebes auf dem halben Zahnkranz erfordert bei 4 Sek. Dauer einer Kurbeldrehung 26 Sekunden.

Fig. 99.

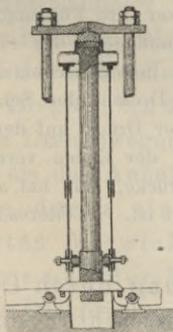
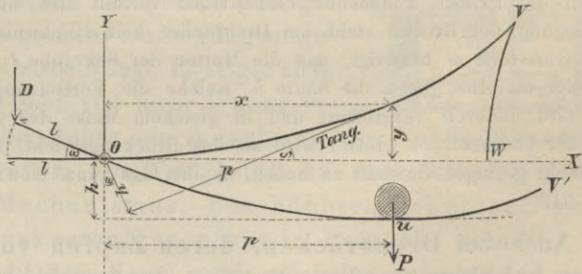


Fig. 100.



Für Drehbrücken, welche vor dem Aufdrehen durch Heben am Mittelzapfen frei gemacht werden, hat van Hasselt (Litt. 168 nach § 94) eine Vorrichtung zur Arbeitersparnis in Vorschlag gebracht.

Wie Textfig. 99 zeigt, besteht diese Vorrichtung darin, daß der Drehzapfen, auf welchem die Brücke hängt, durch Vermittelung eines Querstückes von den kurzen Enden zweier ungleicharmigen Hebel getragen wird, während auf den langen Hebelsarmen rollende Gegengewichte in jedem Augenblicke das Gleichgewicht herstellen. Damit letzteres wirklich stattfindet, müssen die langen Hebelarme

nach besonderen Kurven gekrümmt sein, in deren jeweilig tiefstem Punkte die Gegengewichte sich einzustellen suchen werden.

Weil die Originalabhandlung (Litt. 168 nach § 94) schwer erhältlich, mag der Grundgedanke nachstehend erläutert werden.

Bezeichnet man den vom Zapfen auf einen Hebel ausgeübten Druck mit D , so kann (Textfig. 100) $D = D_0 + C.l \sin \omega$ gesetzt werden, wobei D_0 der Anfangswert von D_0 und C ein Festwert ist. Nun hat man für beliebige Stellung OU , nach der Momentengleichung

$$D.l \cos \omega = Pp \quad \text{oder} \quad (D_0 + C.l \sin \omega)l \cos \omega = Pp$$

und nach dem Prinzip der virtuellen Arbeit: $D.l \cos \omega . d\omega = Pdh$ oder nach Einsetzung von D und Integration: $D_0.l \sin \omega + \frac{C}{2}l^2 \sin^2 \omega = Ph$. Aus diesen beiden Gleichungen bestimmen sich p und h und man hat dann

$$x = h \sin \omega + p \cos \omega = \frac{D_0}{P}l + \frac{Cl^2}{2P} \sin \omega (1 + \cos^2 \omega) \quad \dots \dots \dots e)$$

$$y = p \sin \omega - h \cos \omega = \frac{Cl^2}{2P} \sin^2 \omega \cos \omega \quad \dots \dots \dots f)$$

$$\text{Krümmungshalbmesser } r = \frac{Cl^2}{2P} (2 - 2 \sin^2 \omega) \quad \dots \dots \dots g)$$

Unter Voraussetzung $D_0 = 0$ erhält man die in Textfig. 100 dargestellten Kurven.

Für $\omega = 54^\circ 45'$ ist $r = 0$, die Kurve OVW hat hier bei V einen Rückkehrpunkt. In obigem sind übrigens die Gewichte der Hebel selbst nicht berücksichtigt.

Das gleichmäßige Auseinanderschoben der Gegengewichte, wobei nur passive Widerstände zu überwinden sind, bewirkt van Hasselt durch Zahnstangen, welche durch von der Bahn aus zu bewegende Zahnräder verschoben werden. Diese Zahnstangen sind mit den Gegengewichten durch Kuppelstangen verbunden. Bei dem Schwenken der Brücke müssen die erwähnten Zahnräder aus den Zahnstangen ausgelöst werden.

Eine beachtenswerte Drehbrücken-Konstruktion mit ausbalanciertem Eigengewicht und nicht durchlaufenden Hauptträgern, nach dem Patent von Dr. Proell und Scharowsky, zeigt Textfig. 115. Vom ganzen Eigengewicht der Drehbrücke ruht nur ein beliebig kleiner Teil, etwa ein Paar Tonnen, auf den festen Auflagern der Brückenenden, alles andere ruht mittels zweier starken Querträger und eines schmiedeisernen Ringes auf dem oberen Laufkranze b . Die 10 Laufrollen a erhalten einen ebenso großen Gegendruck durch den unteren Laufkranz c und die ungleicharmigen Hebel f von den Gewichten g , die zentrisch um die sternförmige Säule i gruppiert sind und in dieser ihre Führung haben. Jede auf die Brücke kommende Verkehrslast verteilt sich nur auf die Endauflager, der erzeugten Durchbiegung der Brücke steht am Drehpfeiler kein Hindernis entgegen. An den Zwischenträgern n ist das Fußstück m befestigt, das die Mutter der Schraube l enthält. Beim Drehen der Schraube l stützt sich dieselbe gegen die Säule h , welche die Fortsetzung von i ist. Der Druck auf den Drehpfeiler wird dadurch vergrößert und in gleichem Maße der auf die Auflager der Enden vermindert. Sobald der Gesamtdruck größer wird als das Brückengewicht, hebt sich die Brücke, man hat also nur ein beliebig geringes Gewicht zu heben, da fast das ganze Gewicht ausbalanciert ist. (Weiteres Litt. 49 nach § 94.)

Auch bei Drehbrücken, deren Zapfen vor der Drehung durch Druckwasser gehoben werden, benutzt man arbeitsparende Vorrichtungen. Zu diesem Zwecke wird z. B. die untere Druckfläche des Kolbens (Drehzapfens) entsprechend dem Brückengewichte mehr den passiven Widerständen, dagegen die obere ringförmige Druckfläche nur entsprechend dem doppelten Betrage der Reibungswiderstände gemacht. Die untere größere Fläche steht immer mit einem Kraftsammler, die obere kleinere abwechselnd mit der Ablafsöffnung oder mit dem Kraftsammler in Verbindung. Im ersten Falle wirkt nur der untere Druck und die Brücke steigt; im zweiten Falle vermehrt der obere Wasserdruck die Wirkung des Brückengewichtes und treibt das Wasser

in den Kraftsammler zurück. Bei der Joliette-Brücke, Marseille (Textfig. 121) haben die untere bezw. obere Druckfläche 850 und 750 mm Durchmesser. Man spart hier gegen 80% Druckwasser.

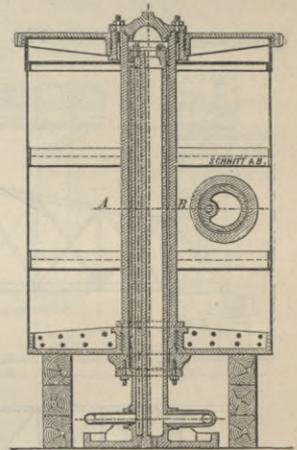
So hat Barret in dem an der Marseiller Drehbrücke (Textfig. 106) anstossenden Maschinenhause eine besondere Vorrichtung aufgestellt, den er „Recuperator“ nennt. Derselbe besteht aus einem stehenden Zylinder, welcher durch eine Röhre mit dem Wasserdruck-Drehzapfen der Brücke verbunden ist. In dem erwähnten Zylinder bewegt sich, durch Vermittelung von Wasserdruck, ein lotrechter Kolben, an dessen Kopfe ein lotrecht geführter eiserner Kasten befestigt ist. Das Gewicht dieses Kastens samt dem Kolben ist so groß, daß die Brücke bei ihrer Senkung noch hinreichend Kraft besitzt, um den Kolben an das obere Ende seines Hubes zu bringen.

Andererseits ist der Kasten nicht schwer genug, um die Brücke zu heben, indem sich zu dem Brückengewichte noch die Summe aller Reibungen hinzufügt; es muß also noch eine Ergänzungskraft angewandt werden, welche man einfach dadurch erhält, daß man Druckwasser der Kraftsammler oberhalb des den Kasten stützenden Recuperator-Kolbens eindringen läßt; handelt es sich darum, die Brücke zu senken, so genügt es, dieses Druckwasser abfließen zu lassen, das Gewicht der Brücke überwiegt und der Recuperator-Kolben kommt wieder an das obere Ende seines lotrechten Zylinders zu stehen. (Man hat es also hier mit einer hydrostatischen Wage zu thun.)

Dies ist der Grundgedanke der Vorrichtung. In Wirklichkeit ist der leichteren Zugänglichkeit wegen die Kolbenstange fest gemacht und der Zylinder trägt die Last des mit dem nötigen Ballast versehenen Kastens (Textfig. 101). Will man die Brücke heben, so genügt das Einlassen des Druckwassers in den ringförmigen Raum, welcher sich zwischen Kolbenstange und Zylinderwand befindet.

Ing. J. Hofmann erhebt begründete Einwendungen gegen die Zweckmäßigkeit der Barret'schen Anordnung und schlägt daher vor, den Barret'schen Recuperator mit dem Schwedler'schen Kraftsammler gemeinschaftlich anzuwenden.¹⁴⁾ Zu dem gleichen Endurteil über den Barret'schen Recuperator gelangte man bei den Entwurfsstudien für die großen, mustergiltig ausgeführten Drehbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal. Es zeigte sich, daß die Drehbewegung der Brücke sehr viel mehr Wasser erfordert als das Anheben der Brücke, daher ein Ausgleich der toten Massen der Brücke durch einen Recuperator, im Vergleich zu der dadurch herbeigeführten Verwickelung des Mechanismus, des höheren Schuldentilgungsbetrages und der Unterhaltungskosten gar nicht in Betracht kommt. Beim Bau der Drehbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal wurde möglichst einfacher und sicherer Betrieb in erster Linie angestrebt. Auch vom wirtschaftlichen Standpunkt erweist sich größte Einfachheit der Vorrichtungen am vorteilhaftesten. Denn die Pumpstation muß unter allen Umständen dem größten Kraftbedarf entsprechend angelegt werden und dann spielt ein etwas größerer oder geringerer Wasserverbrauch den durch eine einfache Anlage erzielten Vorteilen gegenüber nur eine sehr untergeordnete Rolle.

Fig. 101. Recuperator der Drehbrücke zu Marseille.



¹⁴⁾ Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1884, S. 493.

Gleicharmige Drehbrücken:

Fig. 102 a bis c. Strafenbrücke in der Rheinstraße im Mannheimer Hafen, M. 1 : 300.

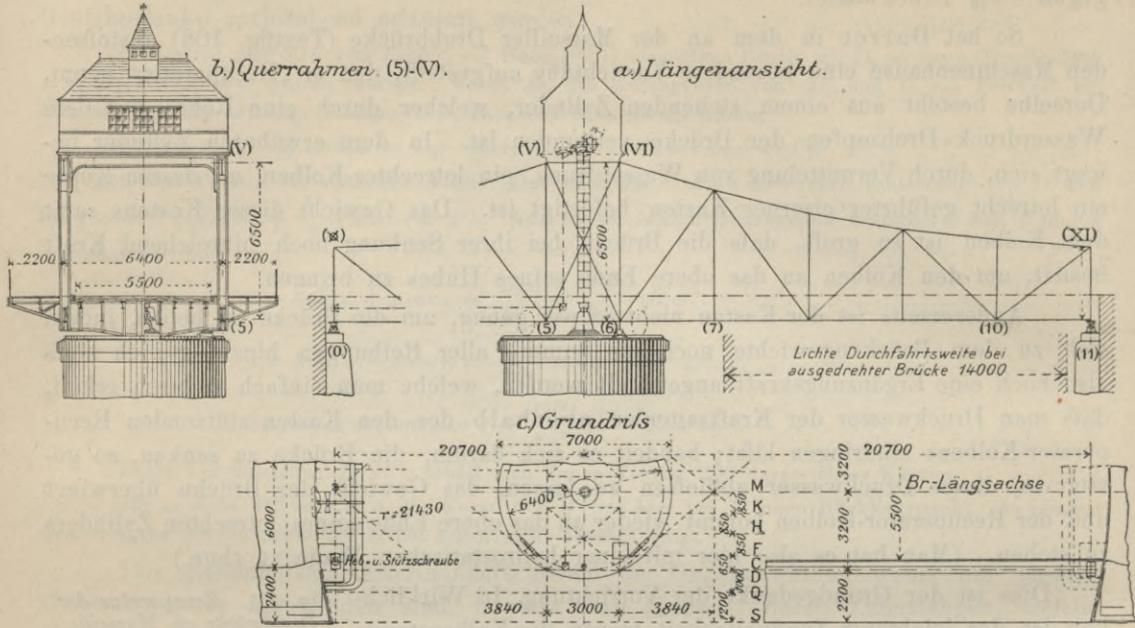


Fig. 103. Harlem-Fluß in New York (134. Strafe).

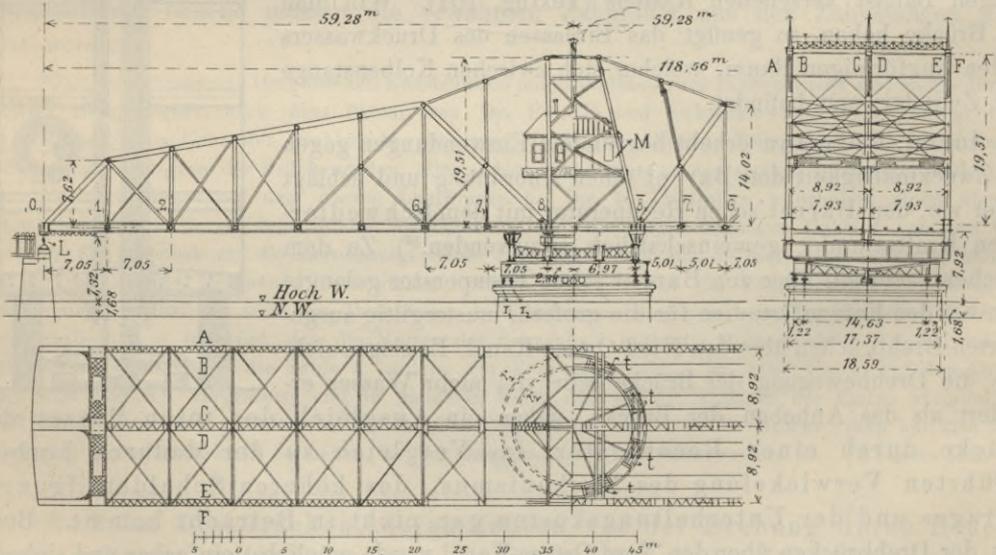


Fig. 104. Maasbrücke zu Rotterdam, M. 1 : 1000.

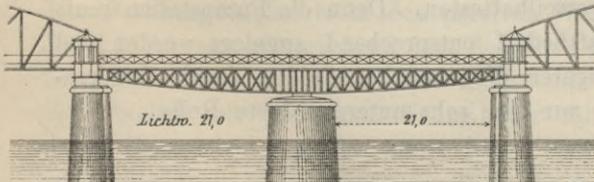
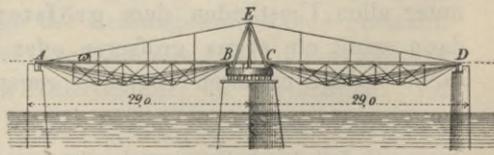


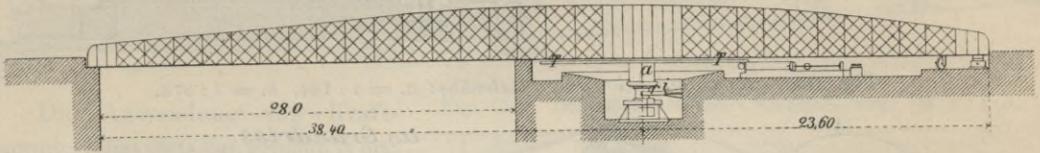
Fig. 105. Mississippi bei Quincy, M. 1 : 1000.



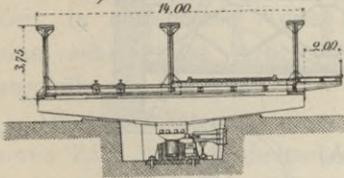
Ungleicharmige Drehbrücken:

Fig. 106 a bis c. Bassin nationale zu Marseille. Maßstab zu a. = 1 : 500.

a.) Längenschnitt.



b.) Querschnitt.



M. 1 : 400.

c.) Grundriss. M. 1 : 400.

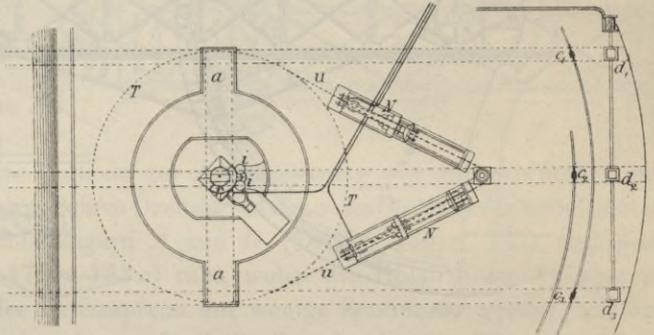
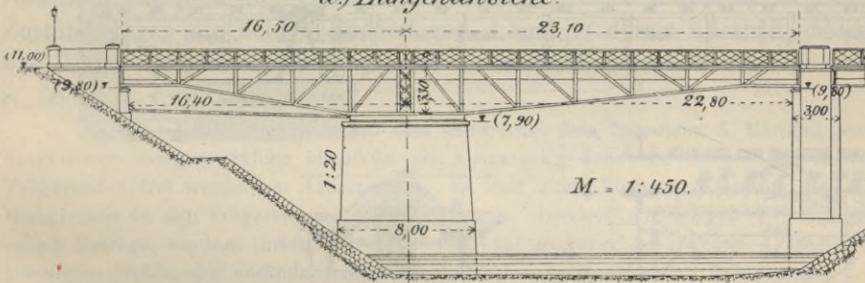


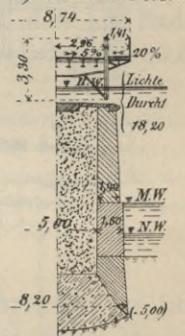
Fig. 107 a bis g. Hafen von Ruhrort.

a.) Längerschnitt.

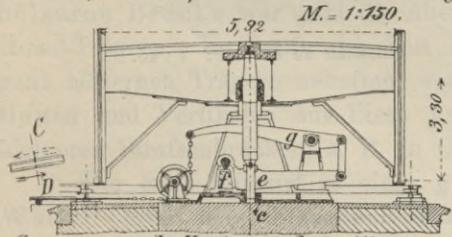


M. = 1 : 450.

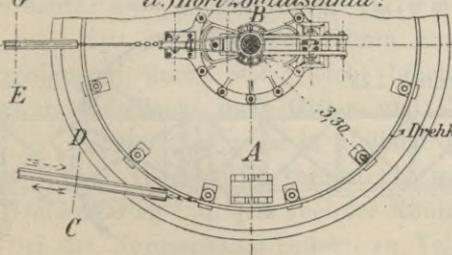
b.) Querschnitt.



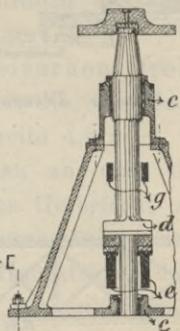
c.) Drehzapfen mit Hebevorrichtung:



d.) Horizontalschnitt:



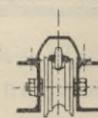
e.) Schnitt: AB



M. = 1 : 75.

f.) Zugkette z. Drehen d. Br.

Schnitt: CD.



M. = 1 : 30.

g.) Zugk. z. Heben d. Br.

Schnitt E G.

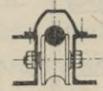


Fig. 108. *Dubbeldam bei Dortrecht.* M. 1:150.

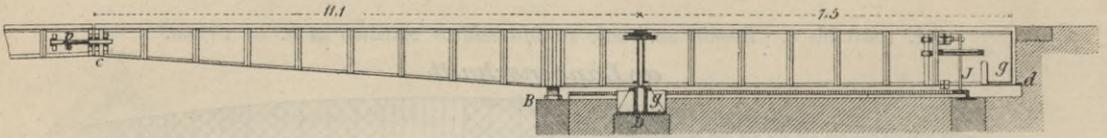


Fig. 109. *Spoeykanal bei Cleve.* Maßstäbe: a. = 1:144, b. = 1:576.

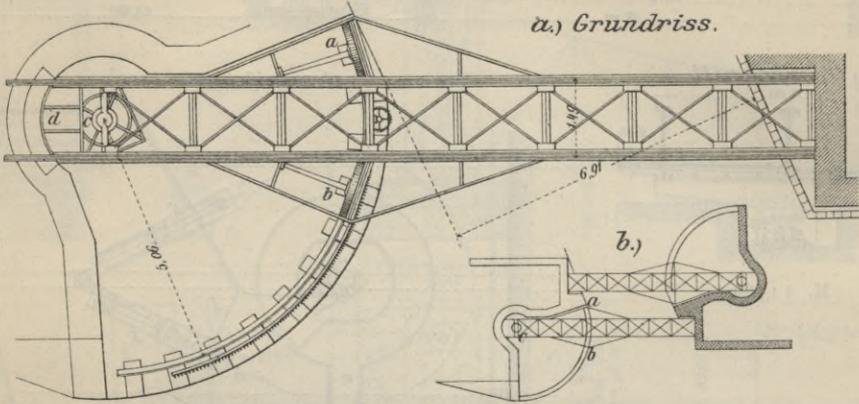
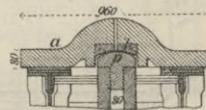
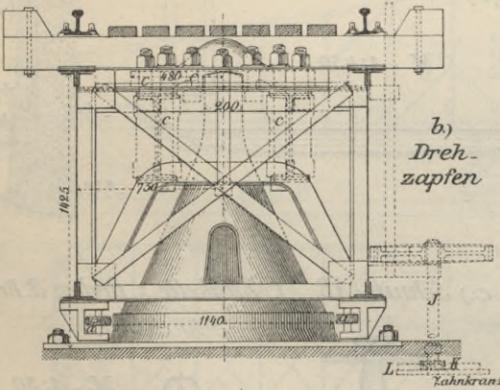
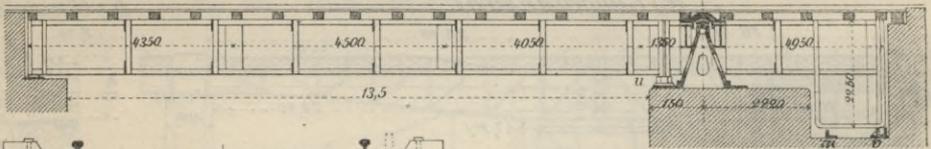


Fig. 110 a bis c. *Huntebrücke bei Elsleth.* Maßstab zu a. = 1:175.

a.) *Längenschnitt.*



c.) *Querschnitt des Drehzapfens.*

Maßstab zu b. u. c: 1:40.

Fig. 111 a u. b. *Peenebrücke bei Anclam.*

a) M. 1:600.

b)

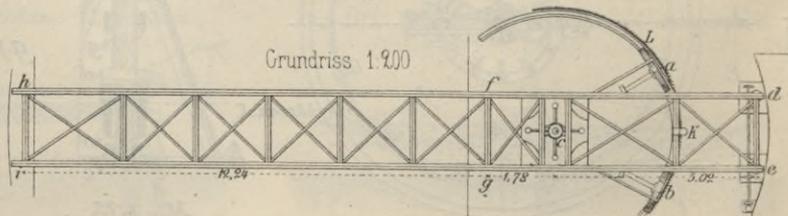
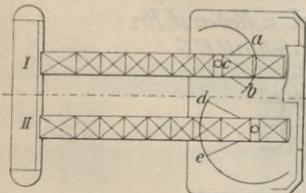
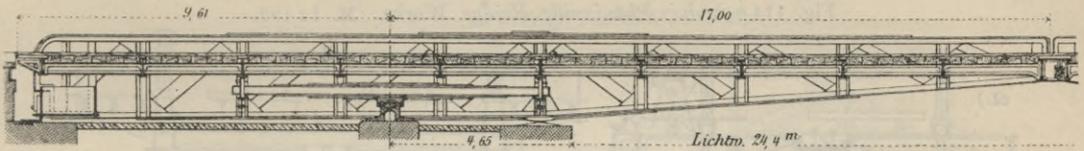
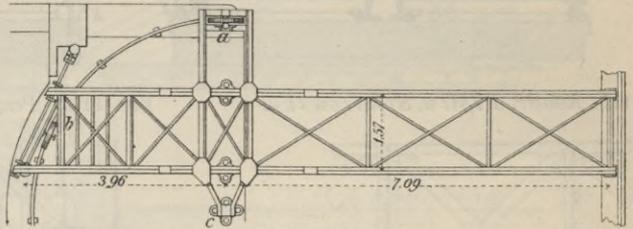


Fig. 112. *Buccleugh-Dock.* M. 1:200.Fig. 113. *Schaaflgraben bei Charlottenburg.* M. 1:150.

Die Anwendung von Kraftsammlern hat stets den großen Wert, daß, wenn auch nur für kurze Zeit, in einfachster Weise sofort eine sehr große Arbeitsleistung ausgeübt werden kann.

Die einfachste, bei einer größeren Zahl neuerer deutscher bedeutender Drehbrücken angewandte Methode zur Arbeitssparung vor dem Aufdrehen besteht darin, daß: a) bei lotrecht beweglichem Drehzapfen das volle Gewicht der unbelasteten Brücke auf den beiden festen Endauflagern *A* und *G* (Textfig. 179 u. 182) und dem festen Pfeilerauflager *C* (Textfig. 179 u. 183 a) ruht, wobei die Höhe dieser Auflager so bemessen ist, daß die Hebung des Drehzapfens um wenige Zentimeter genügt, um das Ende des langen Armes zum Abheben bzw. die Leitrollen des kurzen Armes zum Aufsitzen (Textfig. 179 u. 182) zu bringen, worauf die Drehung beginnen kann; b) bei festem Drehzapfen die feste Mittelstütze *C* der eingedrehten Brücke im unbelasteten Zustand gegen die beiden Endauflager *A* und *B* derart überhöht bleibt, daß am Ende des langen Brückenarmes *B* nur ein kleiner Auflagerdruck herrscht (vergl. Textfig. 89 b, S. 95 u. Textfig. 188).

Es möge schließlich hier auf eine sinnreiche, dem Ingenieur A. Ringel patentierte Vorrichtung hingewiesen werden, welche ebenfalls zur Ausnutzung der beim Senken der elastisch durchgebogenen Trägerenden frei werdenden Arbeit dient. Es sind auch hier zur Regelung des Wasserdruckes in den Hubpressen an den Trägerenden Gewichte benutzt. Letztere wirken jedoch nicht unverändert mit ihrem vollen Betrage, sondern (infolge ihrer Führung auf geeignet gekrümmten Leitflächen) nur mit einer der jeweiligen Größe des veränderlichen Stützendruckes entsprechenden Komponente.

§ 42. Baustoff und Konstruktionsformen der Hauptträger. Die größte hölzerne Brücke war wohl die über den Mississippi bei Davenport mit 85,4 m langen Howe-Trägern. Im Laufe der Zeit ist man wegen der bekannten Mifsstände, welche ganz hölzernen Trägern anhaften, von solchen abgegangen. Howe-Träger dagegen mit Gurten und Vertikalen aus Eisen und Streben aus Holz findet man noch später bei kleineren Strafsenbrücken, z. B. in Chicago.

Der erste Entwurf zu einer gusseisernen Drehbrücke rührt vom Engländer Walter (1804) her. Eine der größten ist die von Teichmann in Antwerpen (1812) erbaute: zwei Flügel von je 17,76 m; Breite 4,6 m.

Seit den dreißiger Jahren fing man an, statt des für große Spannweiten ungeeigneten, durch Stöße leicht brechenden Gusseisens schmiedeeiserne Träger, und zwar erst Blech-, dann Gitter- und Fachwerkträger anzuwenden.

Später hat man in Holland die Hauptträger der großen Drehbrücken aus gewalztem Gufsstahl hergestellt, wobei als zulässige Inanspruchnahme für Zug und Druck 900 kg f. d. qcm (bei der Königshafen-Brücke zu Rotterdam), bis 1000 kg f. d. qcm (bei der Nordseekanal-Brücke zu Velsen) eingeführt worden ist.

Drehbrücken - Einzelheiten:

Fig. 114 a u. b. Phönixville Bridge Works. M. 1 : 192.

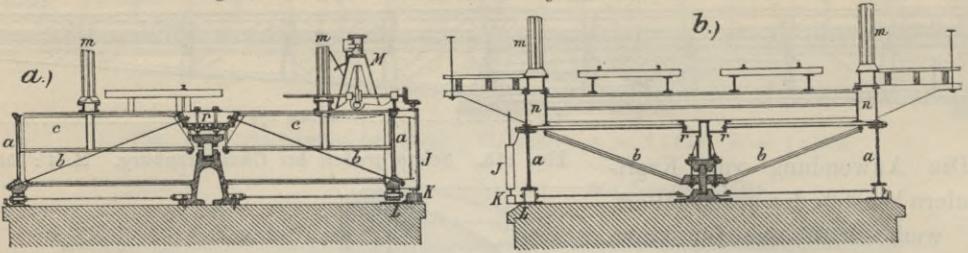


Fig. 115. Konstr. Pröll u. Scharowsky.

Fig. 116. Penfeld-Brücke zu Brest. M. 1 : 150.

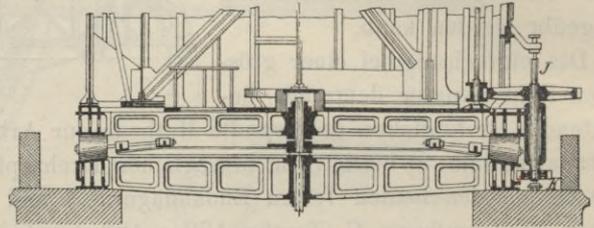
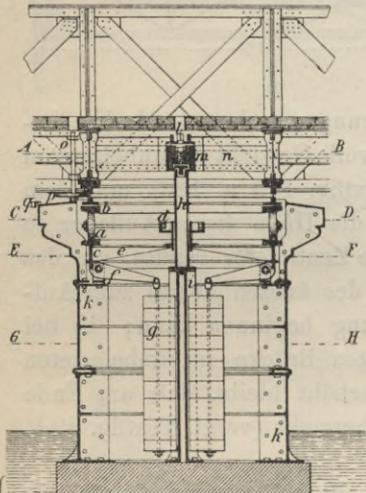


Fig. 117. Keystone Bridge Compagnie.

Fig. 118 a u. b. Drehzapfen der Brücke über den Königshafen in Rotterdam.

M. 1 : 50.

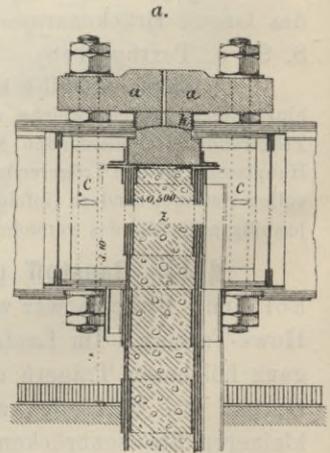
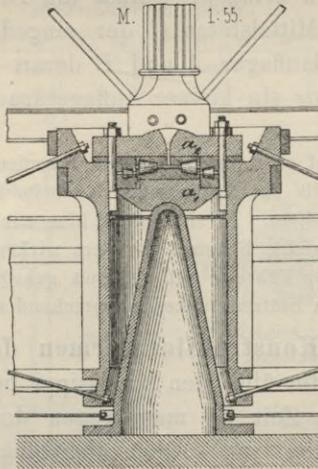
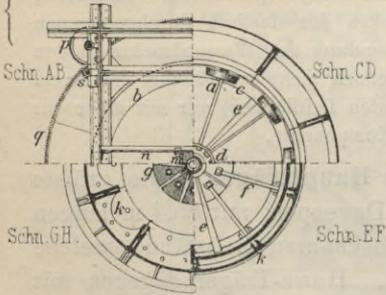
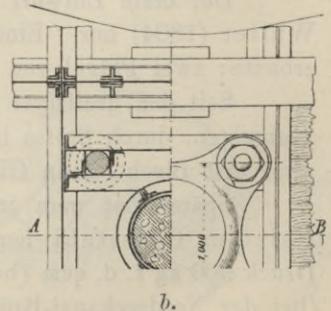
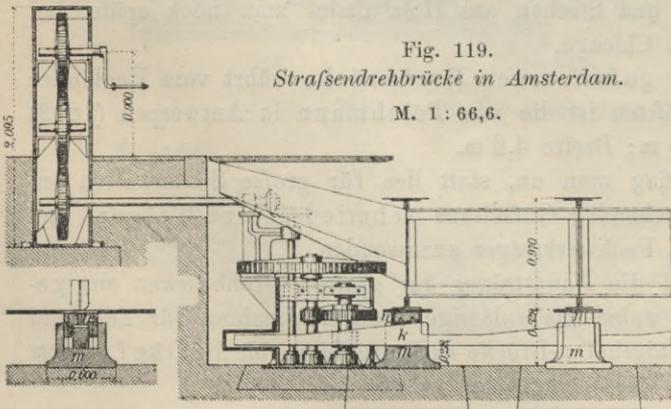


Fig. 119. Straßendrehbrücke in Amsterdam.

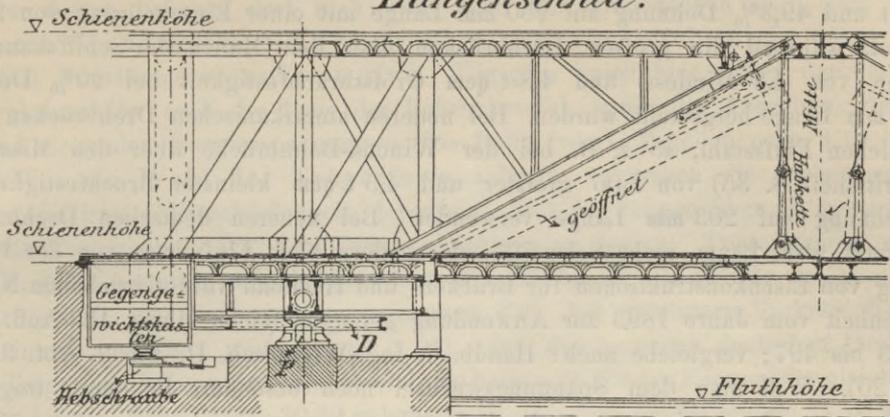
M. 1 : 66,6.



b.

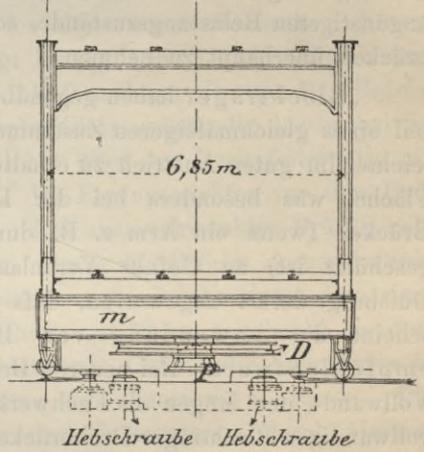
Fig. 120. Doppeldrehbrücke mit Zugbrücken. Hochbahn zu Liverpool.

Längenschnitt:



1050 1 2 3 4 5 6 7 8 9m

Querschnitt:



Grundriss:

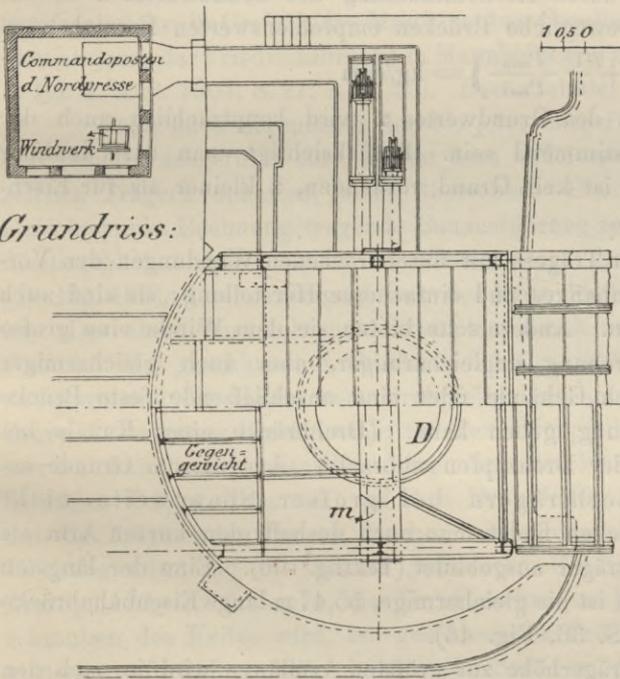
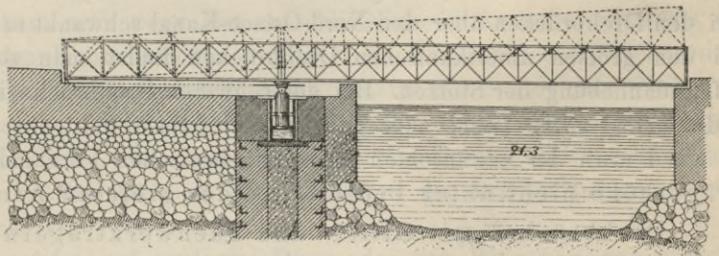


Fig. 121.

Bassin Joliette, Marseille.

M. 1 : 500.



In Deutschland ist wohl die Baakenbrücke in Hamburg (Fortschrittsheft S. 12 mit Fig. 14 bis 16 und Litt. 89 nach § 94) die erste vollständig aus Flusseisen ausgeführte Drehbrücke. Die später gebauten Drehbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal wurden noch aus

Schweißseisen hergestellt. Für eine der größten Drehbrücken Englands, die Hawarden-Drehbrücke (Fortschrittsheft S. 22, Fig. 24 bis 28), wurde Stahl von 4900 kg/qcm Bruchfestigkeit und 49,3% Dehnung auf 250 mm Länge mit einer Einschnürung von 24,4% verwendet, während die großen Drehbrücken über den Manchester-Schiffskanal aus Flusseisen von 4,2 Mindest- und 4,8 t/qcm Größtbruchfestigkeit bei 20% Dehnung auf 203 mm Länge hergestellt wurden. Bei neueren amerikanischen Drehbrücken findet man weichen Flusstahl, so z. B. bei der Winona-Bahnbrücke über den Mississippi (Fortschrittsheft S. 35) von 5,06 größter und 4,5 t/qcm kleinster Bruchfestigkeit bei 22% Dehnung auf 203 mm Länge verwendet. Bei neueren deutschen Drehbrücken wird vorerst wohl kaum mehr Schweißseisen, sondern bloß Flusseisen von der für die Lieferung von Eisenkonstruktionen für Brücken- und Hochbau vorgeschriebenen Normalbeschaffenheit vom Jahre 1893 zur Anwendung gelangen (siehe Hütte, 18. Aufl. 1902, I. S. 493 bis 497; vergleiche auch: Handb. d. Ing.-Wissensch. II. Bd. 2. Abt. 3. Aufl. 1901, § 20). Will man dem Spannungswechsel noch besonders Rechnung tragen, so geschieht das wohl am einfachsten durch Herabminderung des Grundwertes α in der für die Querschnittsbemessung für bewegliche Brücken empfehlenswerten Formel

$$\sigma = \alpha \left(1 + \frac{1}{2} \frac{P_{\min}}{P_{\max}} \right) = \text{kg/qcm}$$

(vergl. § 27 u. 42). Für die Wahl des Grundwertes α wird hauptsächlich auch der Genauigkeitsgrad der Rechnung bestimmend sein. Berücksichtigt man alle denkbar ungünstigsten Belastungszustände, so ist kein Grund vorhanden, α kleiner als für Eisenbrücken überhaupt zu nehmen.

Blechträger haben gegenüber Trägern mit durchbrochenen Wandungen den Vorteil eines gleichmäßigeren Zusammenhanges und einfacherer Herstellung; sie sind auch leichter im guten Anstrich zu erhalten. Andererseits bieten sie dem Winde eine große Fläche, was besonders bei der Drehung ungleicharmiger, aber auch gleicharmiger Brücken (wenn ein Arm z. B. durch Gebäude oder eine anschließende feste Brücke geschützt ist) zu Gefahr Veranlassung geben kann. (Drehbrücke eines Kanals bei Duisburg derart zugeworfen, daß der Drehzapfen abbrach.) Aus diesem Grunde erscheint die Anwendung von Blechträgern bei großer Spannweite nicht empfehlenswert. Bei neueren Brücken findet man auch deshalb den kurzen Arm als Vollwand-, den langen als Fachwerkträger ausgebildet (Textfig. 196). Eine der längsten vollwandigen Blechträger-Drehbrücken ist die gleicharmige, 55,47 m lange Eisenbahnbrücke nächst Washington (Fortschrittsheft S. 36, Fig. 46).

Das Verhältnis der größten Trägershöhe zur größten Armlänge wird je nach den örtlichen Verhältnissen (verfügbare Konstruktionshöhe) sehr verschieden angenommen. Bei den Drehbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal schwankt es zwischen 1 : 4 und 1 : 9,5; bei den großen amerikanischen Drehbrücken findet man sogar 1 : 2,7 mit Rücksicht auf Endanhebung der Stützen. Bei der schweren Drehbrücke in Mannheim (Textfig. 198) findet man 1 : 3,19 (siehe auch Tabelle nach § 94 u. ff.). Ist man nicht beschränkt, so wird man der erwünschten geringen elastischen Formänderung halber als größte Trägershöhe nicht unter 1 : 6 bis 1 : 8 der größten Armlänge wählen.

Drehbrücken mit Gitter- und Fachwerkträgern zeigen beispielsweise die Textfig. 103, 104, 112, 121, 123, 130, 179, 188, 196 u. 210, sowie Taf. I, Fig. 1 u. 8; Taf. III, Fig. 8 u. 15; Fortschrittsheft S. 11, Fig. 13; S. 22, Fig. 24; S. 26, Fig. 29; S. 31, Fig. 38; S. 34, Fig. 41; S. 35, Fig. 43; S. 41, Fig. 55; S. 45, Fig. 58 a und S. 47, Fig. 59 a.

Über das günstigste Verhältnis der größten Trägerhöhe zur Armlänge bezüglich des geringsten Baustoffaufwandes liegen keine Untersuchungen vor. In Übereinstimmung mit den festen Brücken darf man wohl auch für Drehbrücken schliessen, dass bei grösseren Spannweiten die Trägerhöhen, wenn möglich, nicht unter 1:6 der größten Armlänge zu nehmen sind. Übrigens spielt hier ausser der verfügbaren Konstruktionshöhe auch die Lage der Fahrtafel, sowie die Anordnung der liegenden und stehenden Querverspannungen eine Rolle (vergl. Tabellen nach § 94).

Was die Wahl der Trägerform anlangt, so zeigen die soeben erwähnten Figuren die grosse Verschiedenheit derselben. Bei Armlängen über 15 m empfiehlt es sich, die Trägerhöhe nach den Enden abnehmen zu lassen. Trägerformen wie Textfig. 209, § 91 gestatten eine grössere Durchfahrts Höhe für die Schiffe bei geschlossener Brücke, sodass man, wie in letztgenanntem Fall, bei mittlerem Verkehr die Brücke nicht einmal ausdrehen muss (vergl. § 91). Bei den neuesten deutschen Drehbrücken ist die Trägerform sehr abwechselungsreich. So hatte z. B. für den Entwurf der gleicharmigen, 69,68 m langen, über Pfeiler 10,30 m hohen und zwischen den Geländern 11,10 m breiten Strafsenbrücke in Crefeld die Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg eine Hauptträgerform ähnlich jener der Friedrichsbrücke in Mannheim gewählt (Handb. d. Ing.-Wissensch. II. Teil, 1. Bd. 4. Aufl. 1904, S. 21, Abb. 10). Bezüglich der Ausführung vergl. Litt. nach § 94.

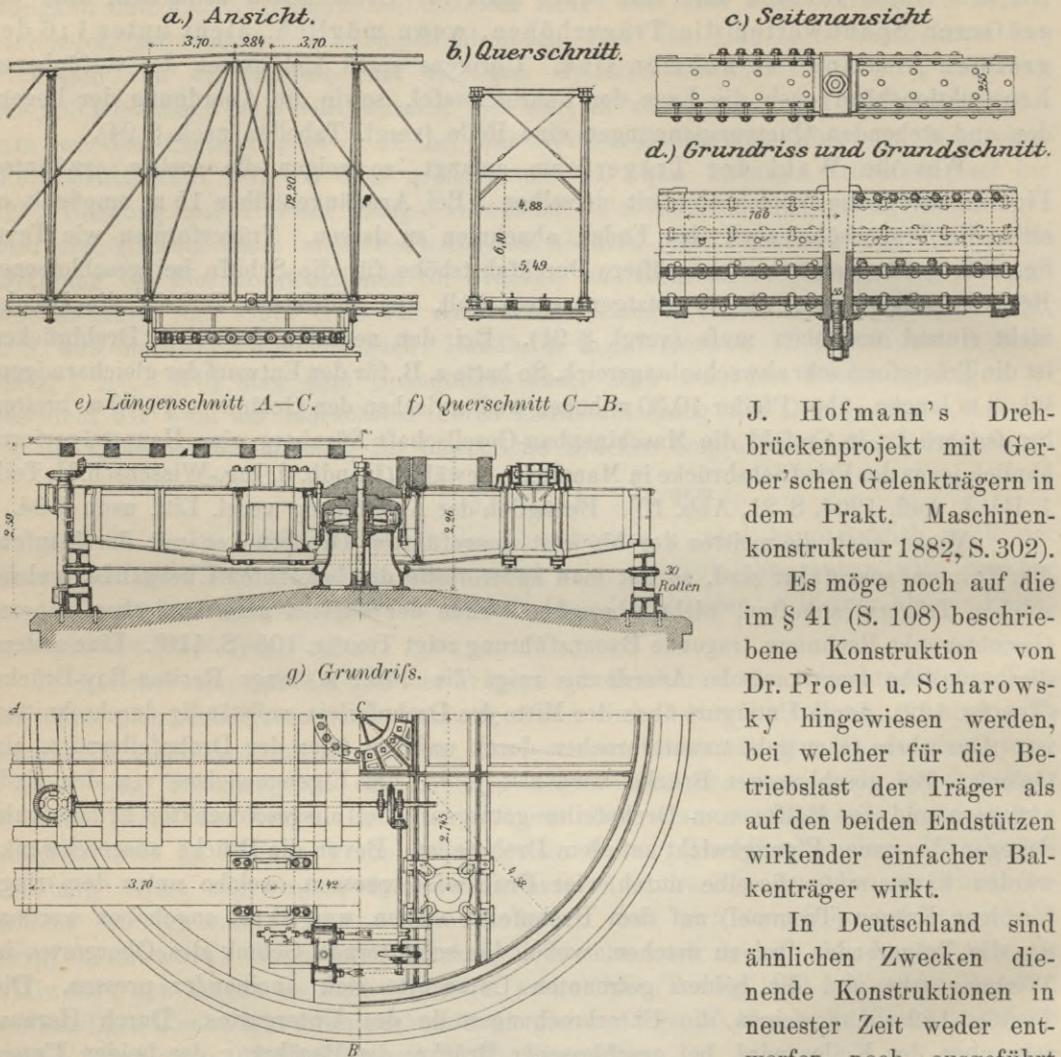
Wenn auch die meisten der bis jetzt ausgeführten Drehbrücken mit durchlaufenden Trägern ausgeführt sind, so hat man andererseits die bekannten Übelstände, welche solchen Trägern anhaften, nicht übersehen. Eine der ältesten amerikanischen, diesem Gesichtspunkt Rechnung tragende Bauausführung zeigt Textfig. 105 (S. 110). Eine andere diesbezügliche amerikanische Anordnung zeigt die 143,9 m lange Raritan-Bay-Brücke (Textfig. 122), deren Untergurt über der Mitte des Drehpfeilers vollständig durchschnitten ist. Der obere Gurt geht ununterbrochen durch und hat über der Drehpfeilermitte ein Gelenk. Bei geschlossener Brücke wird also je $\frac{1}{4}$ des Eigengewichtes von den Endauflagern und die Hälfte vom Drehpfeiler getragen. Bei ausgeschwenkter Brücke ruht dagegen das ganze Eigengewicht auf dem Drehpfeiler. Bevor die Brücke ausgeschwenkt werden kann, muss dieselbe durch vier Druckwasserpressen, welche unter dem ringförmigen Träger (Trommel) auf dem Drehpfeiler stehen, um 10 cm angehoben werden, um die Trägerenden frei zu machen, wobei das schlotternde Gelenk des Obergurtes in Wirkung tritt und die beiden getrennten Untergurte sich aneinander pressen. Die Textfig. 122 *c* u. *d* zeigen die Unterbrechungsstelle des Untergurtes. Durch Heraus-schrauben des Keiles wird, bei geschlossener Brücke, die Berührung der beiden Untergurteile aufgehoben. Die in den Zeichnungen ersichtlichen Verbindungs-laschen sind auf der einen Hälfte ihrer Länge mit Schlitzlöchern versehen.

In neuerer Zeit haben, und zwar fast ausschliesslich in Amerika, ähnliche Bestrebungen zu nachstehenden Konstruktionen geführt. So wurde bei der gleicharmigen Passaic-Eisenbahndrehbrücke (Fortschrittsheft S. 37 u. Fig. 50, S. 38) das Pfeilerfach als Querkraftnullfeld angeordnet und überdies in eigenartiger Weise durch einen mittels Druckwasser bewegten Kniehebel vor dem Ausdrehen der Brücke die obere Gurtung verkürzt; gleichzeitig wurden die Keile an den Endlagern der Brücke gezogen, sodass die Brücke zum Ausdrehen frei war.

Das gleiche Ziel verfolgt auf anderem Wege das von Worthington erdachte und in den Textfig. 123 *a* u. *b* dargestellte System, dessen Wirkungsweise unmittelbar aus diesen Abbildungen ersichtlich ist. (Vergl. auch die von Bender vorgeschlagene ähnliche Konstruktion im Journ. of the american society of civ. eng. 1876, S. 228; ferner

Fig. 122 a bis g. Raritan Bay-Brücke (New York-Long Branch-Eisenbahn).

a, b, e bis g Dreh- und Stützvorrichtung am Mittelpfeiler. e u. d. Untergurt in Brückenmitte.



Maßstäbe: a. u. b. = 1 : 370; c. u. d. = 1 : 40; e. bis g. = 1 : 120.

Gedanken ausgehend: Zersplitterung des Hauptbewegungsmechanismus in viele Einzelmechanismen sei möglichst zu vermeiden. Durch sorgfältigste Bauausführung, Anordnung von nachstellbaren Auflagern und Berücksichtigung aller nur denkbar ungünstigen Belastungsweisen lassen sich in der Tat diese Nachteile des durchlaufenden Trägers ganz beseitigen oder auf ein sehr geringes Maß bringen, wobei der Hauptvorteil eines möglichst einfachen und zentralen Betriebes gewahrt bleibt.

Unter den älteren englischen Drehbrücken findet man mehrfach Konstruktionen, welche auf dem Gedanken beruhen, die geschlossene Brücke als Bogenbrücke wirken zu lassen.

Derartige Anordnungen sind bereits in den London docks (zwischen West-Dock und Wapping-Bassin) verwendet. Die beiden einarmigen Brückenhälften setzen sich in geschlossenem Zustande auf Kämpferflächen auf, und werden durch im Scheitel eingesetzte Keile als Bogen mit Scheitelgelenk wirk-

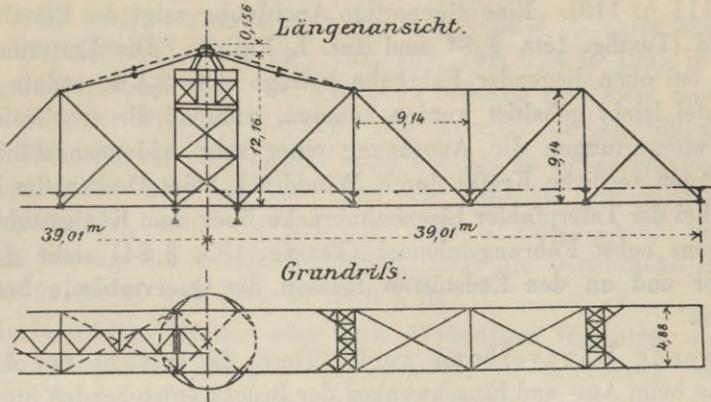
J. Hofmann's Drehbrückenprojekt mit Gerber'schen Gelenkträgern in dem Prakt. Maschinenkonstrukteur 1882, S. 302).

Es möge noch auf die im § 41 (S. 108) beschriebene Konstruktion von Dr. Proell u. Scharowsky hingewiesen werden, bei welcher für die Betriebslast der Träger als auf den beiden Endstützen wirkender einfacher Balkenträger wirkt.

In Deutschland sind ähnlichen Zwecken dienende Konstruktionen in neuester Zeit weder entworfen noch ausgeführt worden, wohl von dem

Fig. 123 a u. b. System Worthington.

a. Übersicht. M. 1 : 600.



b. Einzelheiten. M. 1 : 60.

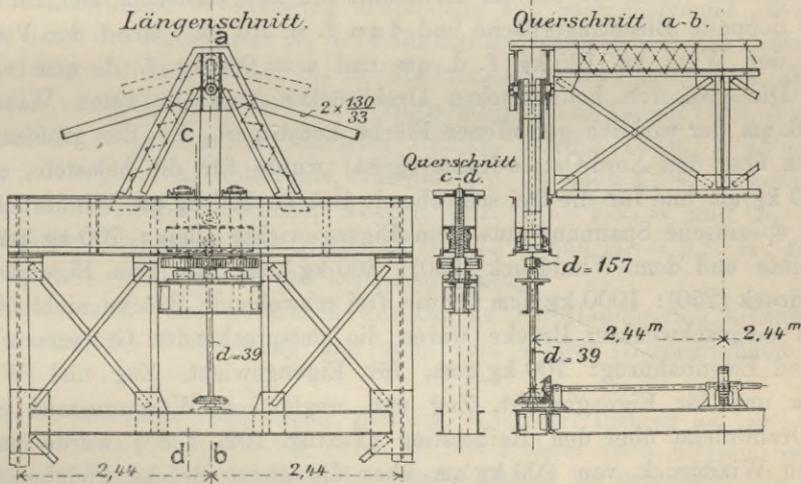
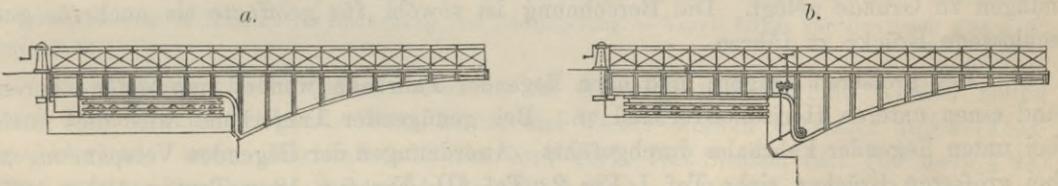


Fig. 124. Englische Drehbrücken mit Bogenträgern.



sam gemacht. Das Öffnen wird dadurch ermöglicht, daß erstens (Textfig. 124 a) die Kämpferfläche nach der Öffnungsseite der Brückenhälfte hin zur Kegelfläche wird, so daß die im Kreise laufenden Kämpferlager sich frei darüber bewegen.

Eine zweite Methode, das Öffnen zu ermöglichen, besteht darin, daß man den unteren Bogenteil um ein Gelenk drehbar macht (Textfig. 124 b) und diesen Teil vor dem Öffnen der Brücke beseitigt.

Die statische Wirkung dieser Konstruktion wird mit fortschreitender Abnutzung immer zweifelhafter.

§ 43. Querverbände und Windkreuze. Bezüglich der stehenden Querverbände gilt im allgemeinen dasselbe wie bei festen Brücken. Hat die Drehbrücke keine eigentlichen Querträger, so werden besondere Andreaskreuze eingesetzt (Textfig. 109, 110, 111 u. 113). Eine eigenartige Anordnung zeigt die Eisenbahndrehbrücke bei Osterröfnfeld (Textfig. 180, § 84 und Taf. I, Fig. 2). Die Entfernung der beiden Obergurtungen bei oben liegender Fahrbahn beträgt blofs 2,4 m, sodafs die Querträger der Fahrbahntafel leicht gehalten werden konnten, während die erheblich gröfsere Entfernung der Untergurtungen die Anordnung einer sehr widerstandsfähigen liegenden Verspannung gegen seitliche Kräfte durch Winddruck beim Drehen der Brücke zuläfst. Bezüglich des bei der Taterpfahler Eisenbahnbrücke über dem Königsstuhl angeordneten Hauptquerrahmens nebst Führungsschemel (Textfig. 185, § 84) siehe § 84, c. Über dem Drehpfeiler und an den Endstützen müssen die Querverbände besonders kräftig gehalten werden.

Der liegende Windverband wurde öfters, da er nicht nur den Winddruck, sondern auch die beim Aus- und Einschwenken der Brücke entstehenden Stöfse auszuhalten hat, bei mittelgrofsen Drehbrücken doppelt so stark, als die Rechnung für Wind allein ergibt, bemessen. (Dies ist bei der Kahnfahrt-Brücke geschehen. Bei der Hohnstorfer Brücke ist doppelte Blechträgerfläche und 4 qm f. d. lfd. m Fläche der Verkehrsmittel gerechnet, der Wind zu 125 kg f. d. qm und $\alpha = 900$ kg f. d. qcm angenommen worden.) Die gröfseren holländischen Drehbrücken sind für einen Winddruck von 150 kg f. d. qm der wirklich getroffenen Fläche konstruiert. Bei den grofsen Eisenbahndrehbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal (§ 84) wurde für die belastete, geschlossene Brücke 150 kg/qm und für die frei schwebende Brücke 250 kg/qm Winddruck gerechnet, wobei die spezifische Spannung aus dem Eigengewichte allein: 700 kg/qcm, aus dem Eigengewichte und dem Winddruck (150): 800 kg/qcm, aus dem Eigengewichte und dem Winddruck (250): 1000 kg/qcm für die frei schwebende Brücke nicht überschreiten durfte; bei eingeschwenkter Brücke waren die entsprechenden Grenzwerte für Eigengewicht und Eisenbahnzug: 700 kg/qcm, für Eigengewicht, Zug und Wind (150): 800 kg/qcm und für Eigengewicht, Zug und ungleichen Wärmezustand 850 kg/qcm. Bei der Drehbrücke über den Reiherstieg (Textfig. 192, § 85) wurde aufser einem wagerechten Winddruck von 200 kg/qm über die ganze Brücke gleichmäfsig verteilt auch ein lotrecht einfallender Winddruck von 50 kg/qm auf die ganze Grundrifsfläche wirkend, und desgleichen von 25 kg/qm blofs auf den langen Arm treffend, den Rechnungen zu Grunde gelegt. Die Berechnung ist sowohl für geöffnete als auch für geschlossene Brücke zu führen.

Bei gröfseren Trägern und oben liegender Fahrbahn wendet man einen oberen und einen unteren Horizontalverband an. Bei genügender Trägerhöhe wird dies auch bei unten liegender Fahrbahn durchgeführt. Anordnungen der liegenden Verspannungen bei gröfseren Brücken siehe Taf. I, Fig. 2; Taf. III, Fig. 9 u. 18 u. Textfig. 103 u. 123.

§ 44. Bewegungsvorrichtungen und Bewegungskraft. 1. Kleine Drehbrücken werden meist von Hand gedreht, aber auch bei den gröfsten Drehbrücken sind fast stets für den Fall der Not Einrichtungen vorgesehen, um den Betrieb mit Menschenkraft vorübergehend aufrecht erhalten zu können, z. B. bei den Nord-Ostsee-Kanalbrücken und der 2000 t schweren Interstate-Brücke in Amerika (Fortschrittsheft S. 31). Ein bis vier Mann betätigen die Bewegung mittels eines, bei schweren Brücken mittels zweier Zahnradvorgelege.

2. Die üblichste Bewegungsvorrichtung der neueren Drehbrücken ist die mittels Zahnradvorgelege durch 1 bis 2 Mann. Hierbei wird in selteneren Fällen das Getriebe mit einem gezahnten Laufrade (a in Textfig. 113 u. 199) der Brücke in Eingriff gesetzt. Meist greift ein an einer lotrechten Welle J sitzendes kleines Triebrad k (Textfig. 102, 108, 110, 111, 114, 116, 122, 129, 191, 194 u. 195) in den am Drehpfeiler befestigten Zahnkranz ein. Bei größeren Brücken sind zwei solche Wellen vorhanden (Fortschrittsheft Fig. 40, S. 32). Die Arbeiter drehen die Welle J mittels Stockschlüssel, Tummelbaum oder mittels eines besonderen Rädervorgeleges und Kurbel. Bei Drehbrücken, welche vor dem Aufdrehen eine kippende Bewegung machen müssen (z. B. nach Schwedler), muß die stehende Welle J entsprechend montiert werden. Eine eigenartige Lösung der letzten Bedingung zeigt die Drehbrücke in Tarent (Fortschrittsheft Fig. 59, S. 47 und Litt. 70 nach § 94).

Wird der auf dem Pfeiler oder dem Widerlager befestigte Zahnkranz nicht mit dem Laufschienekranz zusammengewachsen (z. B. in Textfig. 86*b*, 114, 116, 122*e* u. *f*, u. 195 Zahn- und Laufkranz zusammen; dagegen in Textfig. 109*a*, 129*a* u. *c*, 191*a* u. *b*, 192*d* und Taf. III, Fig. 12 getrennt), so wird ersterer von den etwa eintretenden Formänderungen des letzteren unabhängig und auch bequemer auswechselbar. Ferner kann dann der Halbmesser R_1 des Zahnkranzes, an welchem die treibende Kraft angreift, zu Gunsten dieser, größer als der Halbmesser R des Laufkranzes, an welchem der Widerstand wirkt, gemacht werden. (Hullsouth-Brücke, Tabelle: No. 3 nach § 94, $R = 4,57$ und $R_1 = 12,81$ m; Hohnstorfer Brücke, Textfig. 129*a*, $R = 2,97$ m und $R_1 = 3,60$ m; Königshafen, Rotterdam, Tabelle: No. 14 nach § 94, $R = 3,32$ m und $R_1 = 3,5$ m; Reiherstieg-Drehbrücke, Textfig. 192, $R = 1,35$ m und $R_1 = 1,75$ m; Strafsendrehbrücke Cuxhaven, Textfig. 193, $R = 2,73$ m und $R_1 = 3,29$ m; Oosterdoksluis, Amsterdam $R_1 = 2,0$ m und gar kein Laufkranz.)

Die Zeit, welche das Aufdrehen der Brücke bei Handbetrieb erfordert, hängt von dem Gewichte, der Übersetzung und auch vom Wetter (Beschaffenheit des Laufkranzes) ab.

Beispiele: Niederbaum-Straßenbrücke, Hamburg, 37 m lang; Drehung um 180° ; vom Öffnen der Straßensklappen, behufs Einstecken der Hebel, bis zum Schlusse dieser Klappen, nach erfolgter Wiederfestlegung der Brücke, bei vier Mann Bedienung 6 Minuten, bei zwei Mann $12\frac{1}{4}$ Minuten. — Königshafen, Rotterdam, 53,8 m lang, zwei Mann drehen um 90° in 3 Minuten; außerdem Heben und Senken der Trägerenden $2\frac{1}{2}$ Minuten. — Baakenbrücke Hamburg, Öffnen und Schließen bei 59° Drehwinkel $2\frac{1}{2}$ Minuten. — Die 153,3 m lange Themseflufs-Brücke (Litt. 85 nach § 94) bei Windstille $2\frac{3}{4}$ Minuten; hiervon $\frac{1}{4}$ Minuten für Endhebung und Endriegelung. — Vergl. ferner Tabellen nach § 94 u. ff., sowie § 32.

3. Größere Drehbrücken, besonders in Amerika und England werden häufig durch Dampfkraft gedreht. Maschine M und Kessel werden entweder neben (Textfig. 114*a*) oder unter (Harlemflufs-Brücke, New York, 155. Strafe, Litt. 102 nach § 94) oder meistens im ersten Stockwerk des Pfeilerfaches (Textfig. 103) oder in einem Maschinenhaus am Ufer (Hawarden-Drehbrücke, Litt. 80 nach § 94) angebracht. Zur Sicherheit ist neben Dampftrieb auch eine Einrichtung für Handbetrieb vorgesehen. Bei der Lifféy-Brücke zu Dublin befindet sich die Maschine am Ende eines parallel zur Flusssache, vor und hinter dem Drehpfeiler, sich erstreckenden Holzgerüsts, welches eine Bühne tragend, die Besichtigung aller Brückenteile bei freier Durchfahrt zuläfst (Textfig. 138, § 48).

Beispiele: Hudson-Brücke, Albany, 83,6 m lang, 350 t schwer durch 10 pferdige Maschine in 2' 15" geöffnet, geschlossen und festgestellt. — Raritan Bay-Brücke 144 m lang, 590 t schwer, auf Roll-

kranz; Drehung erfolgt durch Dampfmaschine mit zwei Zylindern von 20 cm Durchmesser, 254 cm Hub (Textfig. 122 g), welche durch Reibungskuppelung zwei in den gezahnten Kreis greifende Getriebe bewegt. Durch diese Kuppelung wird die Vorrichtung vor Trägheitsstößen gesichert.

Themseflufs, Neu London, 809 t schwer (Litt. 85 nach § 94). — Die 2400 t schwere Harlemflufs-Brücke, New York (Litt. 102 nach § 94) wird mit Dampfkraft gedreht; für die Endhebevorrichtung und Bremsvorrichtung dient Druckwasser. — Viergleisige Harlemflufs-Brücke, 134. Strafe, besitzt zwei 50 pferdige Dampfmaschinen (Litt. 109 nach § 94). — Alton-Eisenbahnbrücke, Illinois, 963 t schwer, durch eine Zweizylinder-Dampfmaschine gedreht und die Enden gehoben (Litt. 193 nach § 94 und Fortschrittsheft Fig. 48, S. 37).

4. Noch häufiger als Dampfkraft findet man bei neueren Drehbrücken Wasserdruck als bewegende Kraft benutzt. Das Druckwasser wird entweder einer vorhandenen Wasserleitung entnommen (Niederbaum-Brücke, Hamburg (Textfig. 130). — Eisenbahnbrücke Drontheim. — Bei der Strafsendrehbrücke, Tarent, wird von der Wasserleitung in einem Behälter von 600 cbm Wasser zugeführt und von hier aus eine Turbinenanlage mit 22 m mittlerer Druckhöhe gespeist, die 14 PS. entwickelt (Litt. 70 nach § 94). — Bei der Baakenbrücke in Hamburg wird aus der Wasserleitung von 2 bis 4 Atm. Spannung mittels Kraftsammleranlage das Druckwasser gewonnen (Litt. 89 nach § 94). — Strafsendrehbrücke, Gent, Turbine mit $3\frac{1}{2}$ Atm. Druck aus der Wasserleitung gespeist (Litt. 184 nach § 94). — Strafsenbrücke im Ruhrorter Hafen. Ein durch eine 2 pferdige Gasmaschine gespeister Kraftsammler liefert das Druckwasser von 35 Atm. (Litt. 121 nach § 94) oder durch auf der Brücke aufgestellte Dampfmaschinen erzeugt [Keokuk-Brücke, Jowa; Rock-Island-Brücke, Davenport, Tabelle: No. 2 u. 4 nach § 94] oder endlich durch besondere Kraftsammleranlagen am Lande geliefert [Drehbrücken: Marseille (Litt. 69 nach § 94); Hawarden-Drehbrücke (Litt. 80 nach § 94); Bassin Bellot, (Litt. 83 nach § 94); Pollet-Brücke (Dieppe) (Litt. 93 nach § 94); Nord-Ostsee-Kanal-Drehbrücken (§ 84)]. In Nordamerika wird eine Eisenbahn-Drehbrücke mittels eines Pelton-Wasserrades, das 8 PS. bei größter Geschwindigkeit entwickelt, angetrieben (Litt. 195 nach § 94 und Fortschrittsheft Fig. 49, S. 38).

Der Wasserdruck-Drehmechanismus ist bei Brücken, deren Last hauptsächlich vom Drehzapfen getragen wird, meist in der Weise angeordnet, dafs um ein wagenrechtes, an der Brücke unterhalb befestigtes Kettenrad *T* [Textfig. 106 a u. b; 107 u. 120; Viktoria-Brücke, Leith, Litt. 28 nach § 94, 7,6 m Durchmesser; Kanal de l'Oureq, Litt. 34 nach § 94), 0,9 m Durchmesser] oder eine Seiltrommel [Textfig. 120, 165 u. 169; Taf. I, Fig. 1 u. 2; Taf. III, Fig. 8 bis 10] sich ein Seil oder eine Kette schlingt, die durch einen (Kanal de l'Oureq) oder durch zwei [Textfig. 97, 106 a u. b, 107 u. 169; Taf. I, Fig. 1 u. 2 und Taf. III, Fig. 8 bis 10, Hawarden-Brücke, Fortschrittsheft Fig. 21, S. 18] Druckwasserkolben hin- und hergezogen werden kann.

Abmessungen: Marseille (Textfig. 106), 700 t schwer; Zylinder 2,8 m lang, 0,3 m Durchmesser. Bei gutem Wetter 8 bis 9 Atm., bei Sturm 30 bis 40 Atm., größter Druck 52 Atm., Kette 22 mm stark wirkt mittels Flaschenzugs. Ganze Bewegung in 3 Minuten. — Viktoria-Brücke, Leith, 620 t, Kolben 0,35 m Durchmesser, 3,2 m Hub. — Rock Island-Brücke, 683 t, Zylinderdurchmesser 0,127 m, Kolbenhub 3,35 m, Druck 356 kg f. d. qcm. 4 Pumpen durch eine 8 pferdige Dampfmaschine getrieben. — Hawarden-Drehbrücke (Litt. 80 nach § 94 und Fortschrittsheft Fig. 25, S. 22), 732 t schwer; Zylinder 0,475 m Durchmesser; Kolbenlauf 3,77 m; Kettentrommel 9,76 m Durchmesser; Ketten aus Stahl. — Strafsenbrücke, Ruhrorter Hafen, zwei Dreh- und ein Hebekolben, wagerecht und parallel gelagert (Litt. 121 nach § 94 und Fortschrittsheft Fig. 21, S. 18). — Pollet-Brücke, Dieppe, 810 t schwer, Zylinderdurchmesser 0,45 m; Kolbenlauf 3,80 m. Einmaliges Öffnen und Schließen in 2 bis 3 Minuten

(Litt. 93 nach § 94). — Osterröndfelder Brücke, Führungskranzdurchmesser 8,72 m; Stahldrahtseile von 80 mm Durchmesser (vergl. § 84). — Baakenbrücke, Hamburg, 300 t schwer; Drehkolbendurchmesser 0,34 m; Gelenkkette; Kettenscheibendurchmesser 2,48 m; Öffnen und Schließen in 3 Minuten (Litt. 89 nach § 94).

Anders ist die Einrichtung bei der nur auf Rollkranz gestützten, 670 t schweren Ouse-Brücke, Goole (Tabelle: No. 9 und Litt. 62 nach § 94). In den 9,76 m im Durchmesser haltenden Zahnkranz greift das durch eine dreizylindrige Druckwassermaschine (von 11,4 cm Zylinderdurchmesser, 46,2 m Hub, 50 Atm. Druck, 40 Umdrehungen in der Minute, gegen 40 Pferdekraft Stärke) bewegte Zahnradvorgelege. Der zugehörige Kraftsammler wird durch eine 12 pferdige Dampfmaschine gehoben. Sowohl die Druckwasser- als auch die Dampfmaschine sind zur Sicherheit in zweifacher Ausführung vorhanden. Ähnlich, nur in den Einzelheiten abweichend, ist die Einrichtung bei der 75,6 m langen Ouse-Drehbrücke der Hull- und Barnsley-Eisenbahn, wobei das auf dem Rollkranze ruhende Gewicht 649 t beträgt (Tabelle: No. 6 und Litt. 62 nach § 94).

Ganz abweichend von den beschriebenen ist in äußerst sinnreicher Weise die Wasserdruck-Drehvorrichtung an der Niederbaum-Brücke in Hamburg (Litt. 55 nach § 94) ausgeführt. Bei den dort sehr beschränkten Räumlichkeiten mußte von der Anlage einer Dampfmaschine mit oder ohne Wasserdruck-Bewegungsmechanismen abgesehen werden und man war darauf angewiesen, den $2\frac{1}{2}$ bis $2\frac{3}{4}$ Atm. betragenden Wasserdruck der Stadtwasserkunst zum Betriebe der Drehbrücke zu verwenden. Die Anordnung ist ferner bei dieser Brücke so getroffen, daß dieselbe nicht nur in jeder beliebigen Lage angehalten, sondern auch beliebig vielmal rechts- oder linksherum durchgedreht werden kann.

Die Figuren *b* und *c* der Textfig. 130 zeigen im Quer- und im Längsschnitt schematisch die Konstruktion. Im Drehpfeiler, welcher im Innern einen Hohlraum von 5,5 m Durchmesser hat, tritt das Wasser zunächst in den Windkessel *a* (Textfig. 130 *c*), von wo aus es zwei Schmid'schen Motoren zugeleitet wird, die mit rechtwinkelig gegeneinander gestellten Kurbeln eine gemeinsame Welle *d* drehen. Diese Motoren können bei dem Drucke der Hamburger Wasserkunst die Arbeit von 4 Pferdekraften leisten. Sie haben 16 cm Kolbendurchmesser, 20 cm Kolbenhub und machen bei gewöhnlichem Gange 90 Umdrehungen in der Minute, wobei die Brückenlast von 300 t in ungefähr 1,7 Minuten um 180° gedreht wird.

Auf der zylindrisch gestalteten Schieberfläche $\beta\beta$ der Schmid'schen Motoren befinden sich drei Öffnungen, von denen die äußeren für die Ausströmung dienen, die mittlere die Einströmung des Wassers vermittelt. Die Maschinen drehen sich bei dieser Einrichtung stets rechts herum. Werden die Funktionen der Öffnungen untereinander vertauscht, so findet Linksdrehung statt. Zwischen Windkessel und Motor ist ein Verteilungskasten *e* eingeschaltet, welcher dazu dient, mittels eines Schieberkolbens die Aus- und Einströmungsöffnungen für die Motoren nach Belieben zu vertauschen oder ganz zu schließen. Die Kolbenstange des Verteilungskastens steht mit einem Hebelzug in Verbindung, der durch den Drehzapfen der Brücke geführt, oben von dem Wärter durch einen Einsteckhebel *e* gehandhabt werden kann. Textfig. 130 *c* giebt die Mittelstellung des mit Klinkvorrichtung versehenen Einsteckhebels und des Schiebers im Verteilungskasten an, bei welcher Stellung das Druckwasser abgesperrt ist.

Auf der Motorwelle *d* sitzt das Stirnrad d_1 , welches in das Stirnrad g_1 einer Welle *g* eingreift, welche quer durch den gußeisernen Kegel gelegt ist, der das Auflager für den Drehbrückenzapfen bildet. Die Welle *g* ist (Textfig. 130 *b*) in ihrer Verlängerung mit dem Kolben *h* eines Druckwasser-Zylinders verbunden, durch den sie um etwa 20 cm vor und rückwärts geschoben werden kann, ohne daß die Stirnräder g_1 und d_1 dabei außer Eingriff kommen. Links und rechts vom Rande g_1 sind auf die Welle *g* hohle Wellen *i* und *k* geschoben, welche unverschieblich in ihren Lagern ruhen. Auf den Enden dieser Hohlwellen stecken fest Reibungskegel, welche in die Hohlkegel passen, die beiderseits an das Stirnrad g_1 angegossen sind. Ist also durch den Druckwasserkolben *h* die Welle *g* nach links verschoben, so wird sie bei ihrer Drehung die übergeschobene Welle *i* mitnehmen, ist sie nach rechts verschoben, dagegen die hohle Welle *k*. Die Welle *i* trägt am Ende das Trieb i_1 , das durch Ver-

mittelung von Rädern l_1 (Textfig. 130 *b*) und l_2 , sowie l_3 das Trieb l_4 bewegt, welches in den Zahnkranz l_5 greift, welcher, unter der Drehbrücke befestigt, sich mit dieser selbst dreht. Je nachdem man mittels des Wasser-Steuerhebels e oben auf der Brücke die Motoren rechts und links herum laufen läßt, wird sich bei dieser Anordnung die Brücke nach der einen oder nach der anderen Seite drehen.

Die Verschiebung der wagerechten Welle g erfolgt, wie bereits bemerkt, durch den Druckwasserkolben h . Erstere ist nach Textfig. 130 *b* in der gewöhnlichen Lage durch den auf die kleinere Kolbenfläche des Kolbens h beständig wirkenden Druck der Wasserkunst nach links verschoben, sodafs der Reibungskegel des Stirnrades g_1 bei Drehung die Welle i , also die Vorrichtung für Drehung der Brücke mitnimmt. Wird die Welle g durch einen auf die gröfsere Fläche des Kolbens h einwirkenden Wasserüberdruck nach rechts verschoben, so kommt der Reibungskegel des Stirnrades aufser Berührung mit der Welle i und nimmt nunmehr bei der Bewegung der Motore die Welle k mit, durch welche die Kniehebel an den Enden der Hauptträger in Bewegung gesetzt werden (vergl. § 82).

Die Niederbaum-Brücke ist aufser mit der Druckwasser- auch noch mit einer gewöhnlichen Vorrichtung zum Drehen durch 2 oder auch 4 Mann ausgestattet. Von dieser nichts Aufsergewöhnliches zeigenden Konstruktion ist in den Skizzen nur der Zahnkranz δ und die Vorrichtung l , die zur Abstellung des Druckwasserbetriebs für Drehung der Brücke dient (Textfig. 130 *b*), gezeichnet.

Die Druckwassermaschinen eignen sich besonders wegen ihrer aufserordentlich genauen Arbeit (Dampf ausdehnungsfähig, Wasser nicht), wodurch man die Bewegung jeden Augenblick ganz in der Gewalt hat. Unter Zuhilfenahme von Kraftsammlern benötigt man überdies verhältnismäfsig schwache Maschinen und kann gleichwohl für kurze Zeit eine sehr bedeutende Krafterleistung betätigen. Man kann statt einer mehrgleisigen schweren Drehbrücke mehrere leichtere und damit leicht zu bewegende Drehbrücken anordnen, die alle von einer gemeinsamen Zentralstelle mit Kraft versehen werden, wodurch sich die Wirkung allenfallsiger Unfälle erheblich abschwächen läßt. Dagegen geben sie im Vergleich mit Dampfmaschinen geringen Nutzeffekt (Trägheit der Wassermassen, besonders passive Widerstände in der Rohrleitung).

Gegen Einfrieren der Leitung benutzt man: Umhüllung mit Schlackenwolle und ähnlichem, Erwärmung des Maschinenraumes durch Gasflammen (Ouse-Brücke, Goole, Litt. 15 und Tabelle: No. 9 nach § 94), Gemenge von Wasser und Methyl-Alkohol oder Glycerin [Drehbrücken über den Nord-Ostsee-Kanal: 100 Teile Glycerin auf 80 Teile Wasser (§ 84), Baakenbrücke, Hamburg: halb Wasser, halb Glycerin (Litt. 89 nach § 94)] oder Glycerin [Drehbrücke im Hafen von Calais (Litt. 82 nach § 94); Rock-Island-Brücke (Litt. 23 nach § 94)]. Auch gewährt die Unterhaltung eines schwachen Stromes in der Leitung eine weitere Sicherheit gegen Eisbildung.

5. In neuester Zeit wird vielfach der elektrische Strom als bewegende Kraft benützt, zu dessen Gunsten: Einfache Konstruktion des Antriebsmechanismus, geringer Kraftaufwand, rasche Dienstleistung, sofortige volle Kraftentfaltung, Verminderung der zu bewegenden Gewichte durch Wegfall der Dampfmaschinen und Kessel, Wasser- und Kohlenbehälter u. s. w. (bei amerikanischen Drehbrücken) und einfache Bedienung von einer Zentralstelle aus sprechen. Meistens ist überdies der unmittelbare Anschluß an eine vorhandene Stromleitung ausführbar. Bei Verwendung von Hauptstrommotoren wird die für die Einzelbewegungen erforderliche Zeit von selbst bei günstigem (windstillem) Wetter vermindert, weil bei ihnen durch Entlastung die Umlaufzeiten sich von selbst erhöhen, sodafs Einschaltung von Vorgelegen vermeidbar ist. Vielfach läßt sich auch der Bewegungsmechanismus so anordnen, dafs bei Leitungsstörungen Gas-, Petroleum- oder Benzinmotoren sofort eingeschaltet werden können. Auf die Besprechung der überaus mannigfachen Ausgestaltung der elektrischen Motoren selbst kann nicht eingegangen werden; dafür mögen kurze Angaben über eine gröfsere Anzahl durch Elektrizität bewegter Drehbrücken folgen, sowie auf Litt. 10 nach § 110 verwiesen werden.

Beispiele: Eine 800 t schwere, auf Rollenkranz lagernde amerikanische Drehbrücke dreht ein Motor von 500 Volt Spannung und 35 Ampères Stärke (= 24 PS.) anstatt einer Dampfmaschine ruhig und ohne Schwingungen (Litt. 187 nach § 94). — Zwei 40 pferdige Dynamomaschinen mit 270 Umdrehungen drehen die 2000 t schwere Omahabrücke (Nordamerika) durch Zahnradgetriebe, indem sie zuerst ihre Kraft auf einen Ausgleicher (*equalizer*) abgeben, der eine gemeinsame Welle antreibt, die durch Kegelhäbner die beiden zur Drehachse symmetrisch gelagerten Zahnkranzritzel bewegt; durch eine andere Umsetzung erfolgt auch von da aus die Endhebung der Brücke (Fortschrittsheft Fig. 39 u. 40, S. 32 und Litt. 108 nach § 94). — Die viergleisige 550 t schwere Bronx-Flussbrücke, New York, bedient ein elektrischer Motor von 29,7 PS. beim Anlauf (Öffnen). Endheben 9,1 PS. und 30 Sekunden; Ausdrehen: 19,3 PS. und 1½ Minuten. Schließen: Anlauf 36,3 PS.; Eindrehen 20,8 PS. und 5⅙ Minuten; Endauflagerung 8,9 PS. und ½ Minute (Litt. 117 nach § 94). — Doppeldrehbrücke, Cleveland (Nordamerika), jede der beiden 42,52 m langen und 7,0 m breiten Straßendrehbrückenöffnungen bedient ein 25 pferdiger Westinghouse waterproof multipolar-Motor, während ein weiterer 5 pferdiger Motor Prefsluft zur Bedienung der Entriegelungsvorrichtungen und Sicherheitstore dient. Elektrische und Druckluftmaschinen: 21000 M.; Kabel: 2100 M. (Litt. 118 nach § 94). — Zweigeschossige Straßen- und Eisenbahnbrücke auf Rock Island, 111,87 m lang und 1100 t schwer, dreht ein 50 pferdiger Motor; Endverriegelung durch Luftdruck (Litt. 129 nach § 94). — Die 150 t schwere Hamilton-Avenue-Brücke, Brooklyn, wurde von 4 Mann in 4 bis 5 Minuten, später durch einen Motor in 5 bis 6 Minuten geöffnet oder geschlossen (Litt. 142 nach § 94). — Die 1200 t schwere Charlestown-Brücke dreht ein Elektromotor auf Rollenkranz mit Zahnradgetriebe; die Drehbewegung regeln durch Prefsluft bediente Bandbremsen (Textfig. 132 und Litt. 153 nach § 94). — Die 160 m lange Interstate-Brücke, Omaha, dreht ein 60 pferdiger Motor in 2¼ Minuten um 90° (Litt. 161 nach § 94). — Die doppelgleisige, 129 m lange und 2950 t schwere Missouri-Brücke wird von zwei 140 pferdigen Elektromotoren mit 500 Minutenumdrehungen bedient. Auf den Zahnkranz wirken, symmetrisch zur Drehachse, 8 Ritzel, je zwei durch einen Ausgleicher gemeinsam angetrieben (Litt. 165 nach § 94). — Die Drehbrücke „Neuhof“ vergl. § 85. — Reihertieg-Brücke bei Harburg (Fig. 192 d^{1 u. 2}), Hauptstrommotoren (vergl. § 86). — Drehbrücke über den westlichen Kanal bei Harburg; Textfig. 195 giebt ein anschauliches Bild des Bewegungsmechanismus. — Jungbusch-Brücke, Mannheim, mittels des aus Textfig. 196 u. 197 ersichtlichen Bewegungsmechanismus wird die Brücke in 4 Minuten gehoben, gekippt, aus- und eingedreht, wovon ⅔ Minuten das Heben erfordert. — Straßen- und Eisenbahn-Drehbrücke im Industriehafen, Mannheim, vergl. Textfig. 198 u. 201, sowie § 90. — Doppeldrehbrücke, Lübeck, vorerst Handbetrieb, doch alle Einrichtung für elektrischen Antrieb vorgesehen (s. § 91). — Drehbrücke über den Weaverfuß, Wilmington. Ein Elektromotor von 6,5 PS. (440 Volt Spannung und 750 Minutenumdrehungen) öffnet die Brücke in 1¼ Minuten um 105° (s. § 93).

Mit der Benutzung der Elektrizität als Hauptkraftquelle ist vielfach deren Verwendung zu Nebeneinrichtungen, als Signalgebung, Bedienung von Abschlußschranken, besonderen Brems- und Sicherheitsvorrichtungen und dergl. verbunden, wobei sich ein übersichtlicher, von einer Zentralstelle geleiteter Gesamtbetrieb einrichten läßt.

6. Vereinzelt, seltener als Haupttriebkraft, sondern meist nur zum Betrieb der Nebeneinrichtungen (Endheben, Verriegeln, Signalisieren, Bedienung der Abschlußschranken u. dergl.) werden Gas-, Benzin- oder Petroleummotoren, sowie Prefsluft als Triebkraft verwendet.

Beispiele: Endverriegelung der 1100 t schweren Rock Island-Brücke durch Prefsluft (Litt. 129 nach § 94). — Doppeldrehbrücke, Cleveland; Prefsluft, durch einen 5 pferdigen Motor erzeugt, bedient die Entriegelungsvorrichtungen und Sicherheitstore (Litt. 118 nach § 94). — Charlestown-Brücke; Drehbewegung durch eine mit Prefsluft betriebene Bandbremse (Textfig. 132) geregelt (Litt. 153 nach § 94). — Eine 73 m lange, zweigleisige amerikanische Drehbrücke wird durch einen Gasmotor über hundertmal täglich gedreht; Drehzeit 1 Minute; Kosten 4,2 Pfennige. Die Brücke läuft beim Schließen einfach auf Rollen auf (Litt. 111 nach § 94). — Die 120 t schwere Brücke über die Lothse bei Harburg dreht eine 2 pferdige Gaskraftmaschine vollständig in 6½ Minuten (Taf. III, Fig. 11 bis 14 und Litt. 123 nach § 94). — Prahm-Drehbrücke, Holtenau (Textfig. 187), je ein 8 pferdiger Petroleummotor öffnet und schließt jeden Drehprahm bei günstigen Verhältnissen in 1⅓, bei den ungünstigsten Verhältnissen in 7½ Minuten (vergl. § 84e.).

7. Schließlich müssen noch die bei Kanalübersetzungen in den Vereinigten Staaten mehrfach ausgeführten, sich selbsttätig bewegenden Drehbrücken erwähnt werden.

Eine gleicharmige, 17,7 m lange und 4,57 m breite Brücke, auf einem Rollkranz ruhend, wird durch das einfahrende Schiff ausgedreht und gelangt dann infolge der Wechselwirkung zweier entgegengesetzt gespannter Federn in die Ausgangsstellung zurück (Litt. 179 nach § 94).

§ 45. Berechnung der Bewegungsvorrichtungen. a) Die zur Überwindung der Trägheit der Massen erforderliche Kraft läßt sich annähernd folgendermaßen berechnen: Faßt man den beweglichen Teil der Drehbrücke (ohne Ballast *B*, Textfig. 125 a) als ein Parallelepipedon von der Länge = $l + l'$, der Breite = b und der Höhe gleich der Längeneinheit auf und bezeichnet mit G das Brückengewicht (Parallelepipedon), mit B das Gewicht des Ballastes B , mit q dessen Schwerpunktsabstand von der Drehachse K (Textfig. 125 a), mit δ die Dichte des Raumelementes $dx \cdot dy \cdot dz$, so ist das Trägheitsmoment des Parallelepipedons, bezogen auf eine durch K gelegte lotrechte Drehachse Z und das rechtwinkelige Koordinatensystem x, y, z , bekanntlich:

Fig. 125 a.

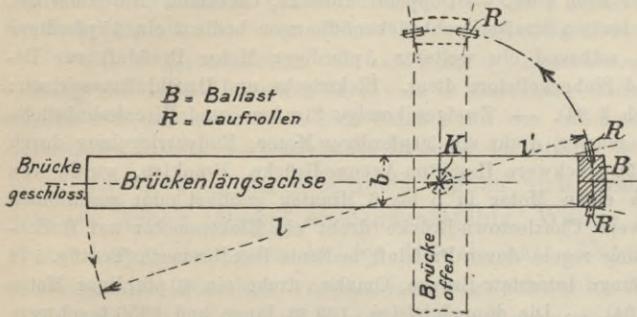


Fig. 125 a) als ein Parallelepipedon von der Länge = $l + l'$, der Breite = b und der Höhe gleich der Längeneinheit auf und bezeichnet mit G das Brückengewicht (Parallelepipedon), mit B das Gewicht des Ballastes B , mit q dessen Schwerpunktsabstand von der Drehachse K (Textfig. 125 a), mit δ die Dichte des Raumelementes $dx \cdot dy \cdot dz$, so ist das Trägheitsmoment des Parallelepipedons, bezogen auf eine durch K gelegte lotrechte Drehachse Z und das rechtwinkelige Koordinatensystem x, y, z , bekanntlich:

$$J = \delta \int_{-\frac{l'}{2}}^{+\frac{l}{2}} \int_{-\frac{b}{2}}^{+\frac{b}{2}} (x^2 + y^2) dx \cdot dy \int dz \dots \dots \dots a)$$

oder wegen $\delta \cdot V = \frac{G}{g}$, wenn $1 \cdot (l + l') b = V$ und $g = 9,81 \text{ m}$ gesetzt wird:

$$J = \left[\frac{1}{3} (l^2 - ll' + l'^2) + \frac{1}{12} b^2 \right] \frac{G}{9,81} \dots \dots \dots b)$$

Mithin wird das gesamte Trägheitsmoment mit Berücksichtigung des Ballastes B mit dem Schwerpunktsabstand q von der Drehachse (Textfig. 125 a):

α. Für die ungleicharmige Drehbrücke, wenn man noch $l' = \lambda l$ einführt, für Tonnen und Meter als Mafseinheiten:

$$J_a = \frac{G_a}{29,43} \left[l^2 (1 - \lambda + \lambda^2) + \frac{1}{4} b^2 \right] + \frac{B q^2}{9,81} \dots \dots \dots c_1)$$

β. Für die gleicharmige Drehbrücke ist $B = 0$ und $l = l'$, d. h. $\lambda = 1$ zu setzen, womit man erhält:

$$J_g = \frac{G_g}{29,43} \left[l^2 + \frac{1}{4} b^2 \right] \dots \dots \dots c_2)$$

γ. Für die einarmige (vergl. Taf. I, Fig. 8 und Litt. 150 nach § 94) ist $B = 0$ und $l' = 0$, d. h. $\lambda = 0$ zu setzen, womit erhalten wird:

$$J_E = \frac{G_E}{29,43} \left[l^2 + \frac{1}{4} b^2 \right] \dots \dots \dots c_3)$$

Bezeichnen: τ die Anzahl Sekunden, innerhalb welcher die Brücke um φ Grad gedreht werden soll, r den Halbmesser des Zahnkranzes (Textfig. 109) oder des Drehkranzes (Textfig. 107 c, S. 111), an dem das Bewegungsritzel oder die Zugkette angreift, v_m die mittlere, v_{max} die größte Drehgeschwindigkeit daselbst und p den Geschwindigkeitszuwachs in der Sekunde, so ist $v_m = 2 r \pi \frac{\varphi}{360} \cdot \frac{1}{\tau} = \text{m/Sek}$. Weil nun die Geschwindigkeit in der ersten Hälfte der Drehzeit τ gleichmäßigs anwächst, in der zweiten Hälfte

wieder bis Null abnehmen soll, ist die grösste Geschwindigkeit nach $\frac{\tau}{2}$ Sekunden:
 $v_{\max} = 2 v_m = \text{m/Sek.}$, mithin die Beschleunigung, bezw. Verzögerung: $p = \frac{2 v_{\max}}{\tau} = \text{m/Sek.}$
 und die hierzu erforderlich Kraft:

$$P = p \cdot m = \frac{J}{r^2} p \quad \dots \dots \dots \text{d)}$$

wenn m die in 1 m Entfernung von der Drehachse angebracht gedachte Masse bedeutet.

b) Reibungswiderstände des Drehzapfens oder der Rollen: α . Ruht beim Drehen das gesamte Gewicht auf dem Drehzapfen (Königsstuhl, z. B. Textfig. 192 u. 195) und bezeichnet M_r das Moment der Zapfenreibung, ν die Anzahl der Umdrehungen in der Minute und μ den Reibungsbeiwert, so ist die Reibungsarbeit für eine Umdrehung $2\pi M_r = \text{Metertonnen}$, daher für eine Sekunde $\frac{\pi \mu \nu}{30} M_r$, mithin die am Drehkranz anzubringende Kraft:

$$P_r = 0,105 \cdot \mu \cdot \nu \cdot \frac{M_r}{r} = \text{Tonnen} \quad \dots \dots \dots \text{e)}$$

Die Werte für μ und M_r sind für verschiedene Formen der Stützfläche, für verschiedenen Baustoff und verschiedenes Schmiermittel sehr verschieden; Einzelangaben hierüber finden sich: Hütte, das Ingenieur-Taschenbuch, 18. Aufl. 1902, S. 210 bis 214, insbesondere auch Litt. 10 nach § 110. — Amerikanische Ingenieure rechnen mit einem Reibungsbeiwert $\rho = 0,05$ bis $0,10$ und einem Reibungshalbmesser $r' = \frac{1}{3} d'$, wenn d' den Drehzapfendurchmesser bedeutet (Litt. 17 nach § 109).

β . Ruht das Gesamtgewicht G auf einem Rollenkranz (amerikanische Drehbrücken, Textfig. 122, S. 118), so wird als Beiwert für rollende Reibung $r'' = 0,003$ als genügend erachtet. Bezeichnet a den mittleren Abstand der Rollen von der Drehachse, so ist die am Drehkranz anzubringende Kraft:

$$P_r = \frac{G \cdot 0,003 \cdot a}{r} = \text{t} \quad \dots \dots \dots \text{f)}$$

c) Reibungswiderstände infolge von Winddruck: ${}^w p = \text{t/m Brückenlänge}$.

α . Drehzapfen: Liegt der Angriffspunkt des Gesamtwinddruckes $W = f({}^w p)$ im Abstand w von der Drehachse, so ist die am Drehkreis erforderliche Kraft:

$$P_w = W \frac{w}{d'} \cdot \frac{d'}{r} = W \cdot \frac{w}{r} = \text{t} \quad \dots \dots \dots \text{g)}$$

β . Rollen (Textfig. 125 b): Der Angriffspunkt des Windes W liege h Meter oberhalb des Führungskreises L (Textfig. 125 b), dann ist mit der daselbst gegebenen Bezeichnungsweise die am Drehkreis erforderliche Kraft:

$$P_w = W \frac{h}{d} \cdot 0,003 \cdot \frac{d}{2r} = W \cdot 0,0015 \cdot \frac{h}{r} = \text{t} \quad \dots \dots \dots \text{h)}$$

Fig. 125 b.

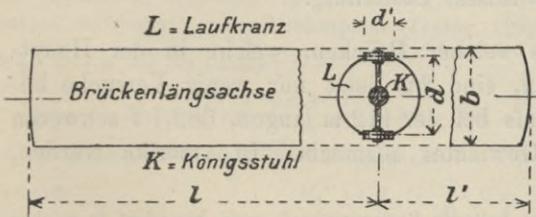
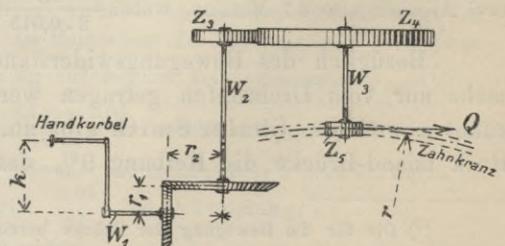


Fig. 126.



d) Reibungswiderstände des Getriebes: Es bezeichnen μ die Zähneanzahl und r die Halbmesser der einzelnen Zahnräder Z , dann ist nach Textfig. 126 das Übersetzungs-

verhältnis $\xi = \frac{\mu_4}{\mu_5} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_3} \cdot \frac{k}{r_1}$. Ein Mann drehe an der Handkurbel mit 15 bis 20 kg, an dem Hebel $k = 0,38 \text{ m}$ (Litt. 10 nach § 110), dann wird

$$P = (15 \text{ bis } 20) \cdot \frac{k}{r_1} \cdot \frac{r_2}{r_3} \cdot \frac{r_4}{r_5} \cdot 0,1 = \text{kg} \dots \dots \dots \text{i)}$$

Bezeichnet noch w_1 den Halbmesser der Welle W_1 , so erfordert die Überwindung der Getriebereibung an der Handkurbel die Kraft: $H = P_g \frac{w_1}{k} = \text{kg}$ so, dafs als nutzbare Kraft an der Handkurbel $H_e = (15 \text{ bis } 20) - H = \text{kg}$ bleiben und am Zahnkranz übertragen wird (Textfig. 126)

$$Q = H_e \cdot \xi = \text{kg} \dots \dots \dots \text{k)}$$

e) Zeiterfordernis: Bei einer Umdrehung der Handkurbel in α Sekunden sind mit den bisher gefundenen Werten für eine Drehung der Brücke um φ Grade erforderlich:

$$\tau = r \cdot 2 \frac{\varphi}{360} \cdot \frac{\xi}{d_5 \alpha} = \text{Sekunden} \dots \dots \dots \text{l)}$$

wenn noch d_5 den Durchmesser des Zahnrades Z_5 (Textfig. 126) bezeichnet.

f) Festwerte der Widerstände. Was die zum Drehen der Brücken erforderliche Kraft anlangt, so sind in dieser Beziehung die dynamometrischen Versuche von grossem Werte, welche Shaler Smith (siehe Herschel's Aufsatz in den Transact. of the americ. soc. of civ. eng. 1875, S. 395 und Gleim's Aufsatz in Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1876, S. 411) mit einer Reihe von amerikanischen Drehbrücken, deren Gesamtlast von einem Rollenkranze getragen wird, angestellt hat. Es hat sich herausgestellt, dafs der Gesamtdrehwiderstand, bezogen auf die Mittellinie des Rollenkranzes, im Mittel etwa zu 7⁰/₁₀₀ des auf diesem ruhenden Gewichtes angenommen werden kann. Unter ungünstigen Umständen kann dieser Wert freilich bis zum fünffachen Betrage steigen.¹⁵⁾ Hervorzuheben ist noch, dafs nach Smith der Rollendurchmesser keinen wesentlichen Einfluss auf den Widerstand hat, wenn nur der Durchmesser mit der Gröfse der Belastung wächst. Breitere Rollen geben gröfseren Reibungswiderstand wegen gröfserer Ungenauigkeit der Bearbeitung. Örtliche Senkungen des Pfeilermauerwerks können den Drehwiderstand um 50% vergröfsern. Bezüglich der jetzt in den Vereinigten Staaten geltenden Werte siehe das unter b) dieses Paragraphen Gesagte, sowie Litt. 26, 39 u. 40 nach § 38 des Anhanges. Hiernach wird für rollende Reibung $\rho = 0,003$ und für gleitende Reibung = 0,100 als genügend erachtet.

Beispiel. Brückengewicht = 300 t. Rollkranzdurchmesser = 4 m. Also Widerstand $W = 0,007 \cdot 300 = 2,1 \text{ t}$; Arbeit beim Drehen um 90°: $A = \frac{2,1 \cdot 3,14 \cdot 2}{2} = 6,594 \text{ tm}$. Kann ein Mann bei kurzer Arbeit in der Minute 0,015 · 60 = 0,9 tm leisten, so braucht er zum Öffnen: $\frac{6,594}{0,9} = 7,3 \text{ Min.}$, zwei Arbeiter also 3,7 Minuten, wobei $\frac{2,1}{2 \cdot 0,015} = 70$ fache Übersetzung.

Bezüglich des Bewegungswiderstandes solcher Brücken, welche in der Hauptsache nur vom Drehzapfen getragen werden, sind bis jetzt nur wenig Versuche bekannt geworden. Shaler Smith gibt an, dafs bei der 112 m langen, 682,7 t schweren Rock Island-Brücke die Reibung 9%₁₀ des Gewichtes ausmacht. In Amerika werden,

¹⁵⁾ Die für die Bewegung der Brücke bereit zu haltende Bewegungskraft mufs besonders in solchen Fällen, wo die Brücke starken Winden ausgesetzt ist, reichlich vorgesehen werden, da gerade bei solchem stürmischen Wetter losgerissene und auf dem Wasser treibende Schiffe ein rasches Öffnen der Brücke bedingen können.

nach Gleim's Angaben, eingleisige Eisenbahnbrücken von 100 m Länge und bis zu 272 t Gewicht, bei Anwendung der Sellar'schen Antifriktionsdrehzapfen (§ 77 u. Textfig. 117 u. 122) bequem durch Menschenkraft in 1 bis 2 Minuten aufgedreht.

Bei Anwendung eines Weickum'schen Kugelkranzes (vergl. Brücke zu Pola in Triest, Textfig. 153, § 76) ist, nach Angabe des Patentinhabers, in der Formel $P = 2\varphi_1 \cdot \frac{Q}{d}$ für den Reibungswert φ_1 der rollenden Reibung von Stahl auf Stahl der Wert 0,03 mm einzusetzen, wodurch bereits die Reibung im Führungsring berücksichtigt wird. In obiger Formel bedeutet Q die Last, d den Kugeldurchmesser und P die wagerechte Bewegungskraft. Bei einem Halbmesser r des Kugelkranzes ist demnach das Reibungsmoment des Kranzes $= Pr$ (vergl. u. a. auch den Aufsatz von Prof. v. Willmann, Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1886, S. 914.)

g) Abmessungen der Einzelteile der Bewegungsvorrichtungen. Auf die Berechnung der Abmessungen der Zähne, Wellenstärken u. dergl., sowie auf die genauere Bestimmung des Wirkungsgrades u. s. w. kann Mangels an Raum hier nicht eingegangen werden; alle derartigen Fragen finden erschöpfende Beantwortung in dem Werke: Hebezeuge von A. Ernst (Litt. 10 nach § 110). Die in Amerika übliche Berechnungsweise ist in Ch. H. Wright, The Designing of drawspans (Litt. 17 nach § 110) enthalten.

Zum Schlusse dieses Paragraphen soll die Berechnung der Drehvorrichtungen einiger Drehbrücken gegeben werden.

a) Hohnstorfer Brücke (Textfig. 129 a bis f).

1. Reibungsmoment des Drehzapfens. Für neue Zapfen (Textfig. 127)

$$M_1' = \mu D r_1 \frac{\alpha - \sin \alpha \cdot \cos \alpha}{\sin^2 \alpha},$$

für eingelaufene

$$M_1'' = \mu D r_1 \frac{\sin^2 \alpha}{\alpha + \sin \alpha \cdot \cos \alpha}.$$

Für $r = 8,5$ cm, $r_1 = 6,5$ cm ist $\sin \alpha = 0,7647$, $\cos \alpha = 0,6444$ und wenn für Gufsstahl auf Gufsstahl $\mu = 0,13$, so ist bei $D = 96250$ kg nach obigem:

$$M_1' = 52540 \text{ cmkg} \quad \text{oder} \quad M_1'' = 34900 \text{ cmkg}.$$

2. Reibungsmoment des Stützrades E (Textfig. 128, vergl. auch Textfig. 87, S. 92 u. Textfig. 129 a). P Kraft zum Fortrollen des Stützrades, R Halbmesser des Schienenlaufkranzes U . Also $M_2 = RP$. Hierin ist bekanntlich

$P = \frac{\mu r + \varphi}{r_1} Q + \frac{\varphi}{r_1} G$. Für gleitende Reibung von Stahl auf Bronze, wenig fettig, ist $\mu = 0,16$ und der Beiwert der rollenden Reibung $\varphi = 0,05$ (für cm). Ist nun Radgewicht $G = 315$ kg; $R = 360$ cm; $r = 3,75$ cm; $r_1 = 47,0$ cm; $Q = 5000$ kg, so ergibt sich nach obigem $M_2 = 25015$ cmkg.

3. Reibungsmoment der Laufräder F (Textfig. 129 b). Von diesen beiden Rädern wird je nach der Windrichtung nur das eine oder das andere belastet. Die vom Winde getroffene Fläche $F' = 57,7$ qm, also Winddruck $W = 57,7 \cdot 125 = 7213$ kg. Windresultante wirkt im Abstand $e = 99,4$ cm über dem unteren Stützpunkte m des Drehzapfens (Textfig. 129 f). Da Halbmesser des Laufkranzes $R = 360$ cm, so ist Druck auf ein Laufrad $Q = \frac{7213 \cdot 99,4}{360} = 1992$ kg und folglich Reibungsmoment

$$M_3' = R \cdot Q \frac{\mu r + \varphi}{r_1} = 360 \cdot 1992 \frac{0,16 \cdot 3,75 + 0,05}{47} = 9920 \text{ cmkg}.$$

Außerdem entsteht durch Radgewicht $G = 315$ kg jedes der beiden Laufräder F noch ein Reibungsmoment

$$M_3'' = 2 \cdot G \frac{\varphi}{r_1} R = 2 \cdot 315 \cdot \frac{0,05}{47} \cdot 360 = 240 \text{ cmkg},$$

zusammen also

$$M_3 = M_3' + M_3'' = 10160 \text{ cmkg}.$$

Als Gesamtmoment der Reibungswiderstände erhält man also bei neuen Zapfen $M_1' + M_2 + M_3 = 87715$ cmkg und bei eingelaufenen Zapfen $M_1'' + M_2 + M_3 = 70075$ cmkg.

Fig. 127.

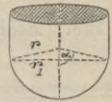
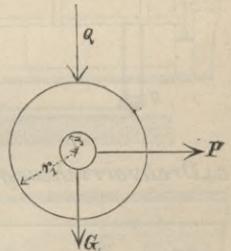


Fig. 128.



4. Reibung in der Windevorrichtung selbst kann zu 10% von $M_1 + M_2 + M_3$ angenommen werden.

Bezeichnet K die am Drehbaum von $h = 210$ cm nutzbarer Länge wirkende Kraft, $R_1 = 297,25$ cm Halbmesser des Zahnkranzes auf dem Drehpfeiler, und $r = 12,25$ cm Halbmesser des eingreifenden Getriebes, so ergibt sich für neue Zapfen $K = \frac{10}{9} \cdot \frac{87715 r}{R_1 h} = 19,1$ kg und für eingelaufene $K = \frac{10}{9} \cdot \frac{70095}{R_1 h} = 15,3$ kg, die von einem Manne ganz gut geleistet werden können. (Bei der Kahnfahrt-Brücke, Berlin-Stettiner Eisenbahn, ist statt der dort berechneten 25fachen Kraftübersetzung eine 150fache ausgeführt worden, da bei der Parnitz- sowohl als auch bei der Oder-Brücke die 25fache Übersetzung sich oft als bei weitem nicht genügend zeigte.)

Der Durchmesser des hölzernen Drehbaums ist im Gegensatze zu den Konstruktionsteilen der Drehvorrichtung nur für $K = 24$ kg bemessen, damit derselbe bei Kraftstößen (Unvorsichtigkeiten) zuerst bricht, ohne die Windevorrichtung zu beschädigen. Sämtliche übrigen Teile der Drehvorrichtung sind für $K = 70$ kg bemessen.

b) Niederbaum-Brücke (Textfig. 130, S. 132).

Nach einer ganz ähnlichen Rechnung, wie oben, findet man:

1. Reibungsmoment des Drehzapfens $M_1'' = 194320$ cmkg.

2. Reibungsmoment zweier in der Brückenachse befindlichen Stützräder (vergl. Textfig. 90, S. 96 und Textfig. 130):

$$M_2 = 2 \cdot 33024 = 66084 \text{ kg};$$

3. Reibungsmoment der beiden seitlichen Stützräder (von denen das eine bei Winddruck 7000 kg erhält, während das andere nur mit der Lagerfederspannung von 1200 kg auf den Laufkranz drückt):

$$M_3 = 33024 + 5760 = 3878 \text{ cmkg};$$

dennach Gesamtmoment dieser Reibungswiderstände

$$M_1'' + M_2 + M_3 = 299130 \text{ cmkg};$$

Fig. 129. Ellbrücke bei Hohnstorf. Maßstäbe: a u. $b = 1:75$, c u. $d = 1:40$, e u. $f = 1:30$.

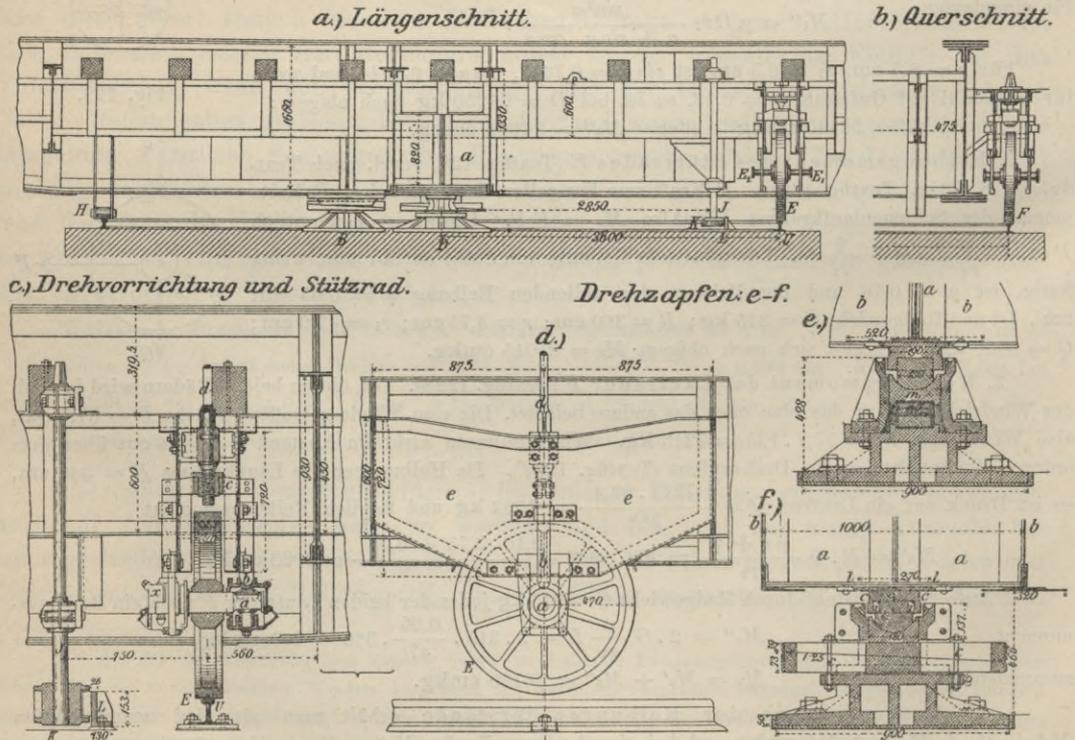
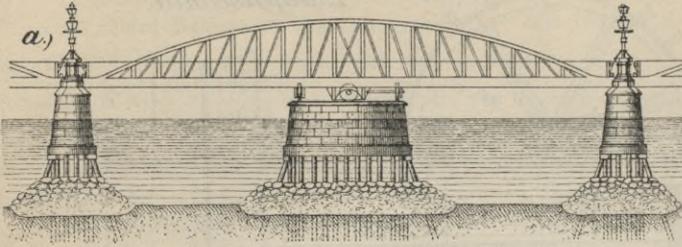
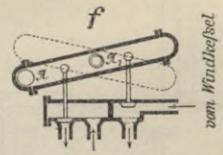
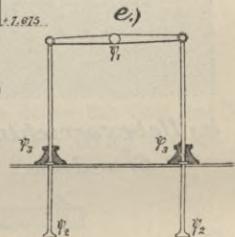
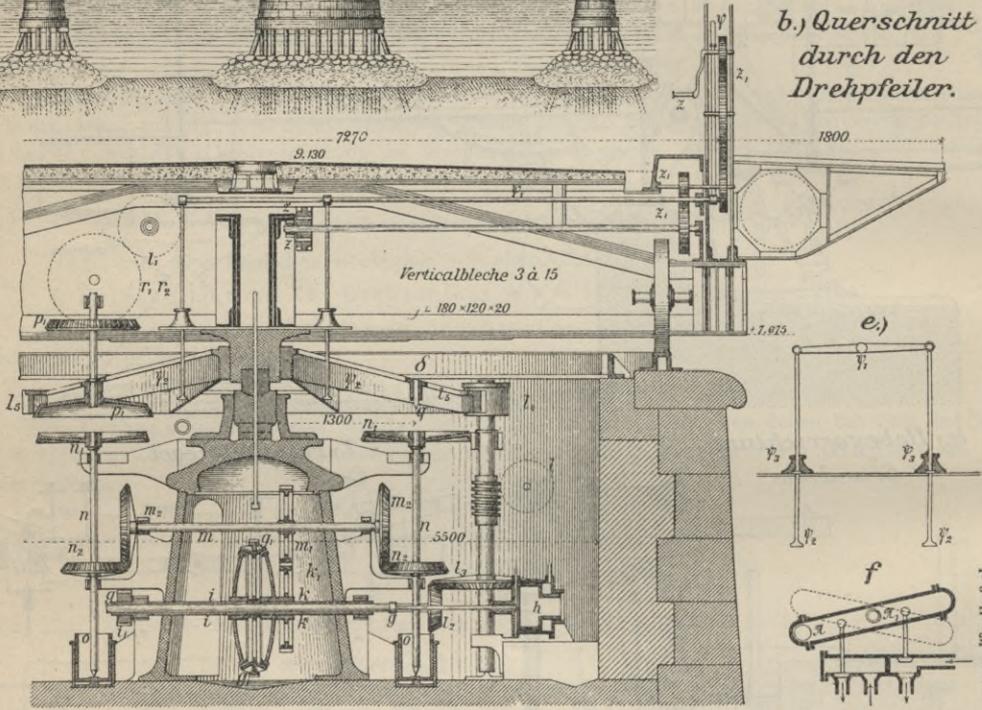


Fig. 130. Niederbaum-Brücke in Hamburg. Maßstäbe: $a = 1 : 500$; b bis $f = 1 : 60$.

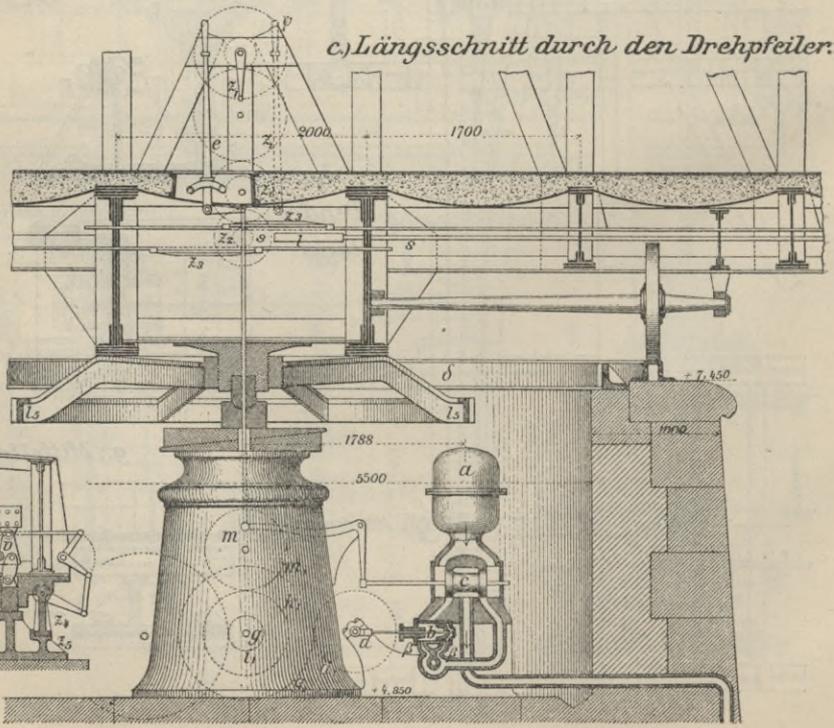
a) Gesamtansicht.



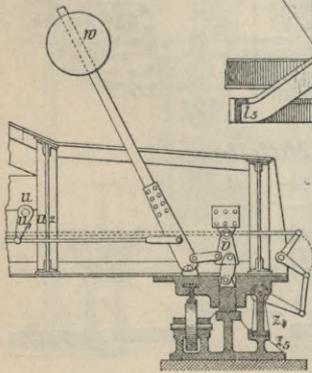
b.) Querschnitt durch den Drehpfeiler.



c.) Längsschnitt durch den Drehpfeiler.



d.) Unterstützung der Trägerenden.



4. Moment der Reibungswiderstände in dem Rädervorgelege (Textfig. 130), ungefähr 10% von $M_1'' + M_2 + M_3$. In diesem Vorgelege haben

die Räder l_5 l_4 l_3 l_2 l_1 i_1 g_1 d_1
einen Durchmesser von 363,0 35,8 124,2 41,4 136,0 27,2 110,8 66,8 cm

Die Umdrehungszahl der Kurbelwelle d der Wassermotoren ermittelt sich danach für eine Brückenschwenkung um 180° zu

$$\nu = \frac{1}{2} \cdot \frac{363 \cdot 124,2 \cdot 136 \cdot 110,8}{35,8 \cdot 41,4 \cdot 27,2 \cdot 66,8} = \text{rund } 126 \text{ Umgängen in der Minute.}$$

Da die Kurbelwelle der Wassermotoren in der Minute 90 Umdrehungen macht, so ergibt sich die Zeit τ für das Ausschwenken zu

$$\tau = \frac{\nu}{90} = \frac{126}{90} = \text{rund } 1,4 \text{ Minuten.}$$

Die mittlere zur Ausübung dieser Leistung erforderliche Maschinenkraft der Wassermotoren berechnet sich demnach, mit Berücksichtigung der Widerstände in den Vorgelegen, aus

$$\frac{10}{9} \cdot 299130 = 71620 \frac{\omega}{\nu},$$

worin $\nu = \frac{0,5}{1,4}$ zu setzen ist, und ergibt für $\omega = 1,66$ Pferdekkräfte.

In Bezug auf das Angehen der Drehbrücke aus der Ruhe heraus muß jedoch die Stärke der Maschine gröfser gewählt werden. Da die Wassermotoren für die Bewältigung der Kniehebel zum Heben der Trägerenden so wie so stärker sein müssen, so sind bei der ausgeführten Brücke Schmid'sche Motoren von 4 Pferdestärken angeordnet worden.

Zum einmaligen Drehen der Brücke um 180° sind, vom Öffnen der Strafsenklappen behufs Einsteckens dieser Hebel bis zum Schlusse der Klappen, nach erfolgter Wiederfeststellung der Brücke, in Wirklichkeit $3\frac{1}{4}$ Minuten erforderlich.

c) Rhein-Strafsendrehbrücke in Mannheim (Textfig. 102, S. 110).

A) Drehen der Brücke. 1. Massenbeschleunigung. Eine genaue Gewichtsermittlung ergab als Schwerpunktsabstand der linken Hälfte von der Drehachse des Königsstuhles 9,0 m und der rechten Hälfte 8,5 m mit den Gewichten von 58,0 und 57,0 t, so daß der Gesamtschwerpunkt 0,3 m links von der Drehachse (Brückenmitte) liegt. Die Brücke soll durch elektrischen Antrieb in $1\frac{1}{4}$ und durch Handantrieb in 3 Minuten um 90° gedreht werden. Im ersten Fall betrage die Beschleunigungs- und Verzögerungsperiode je 10, im zweiten Fall je 30 Sek., wofür sich die Winkelgeschwindigkeiten

$$w_1 = \frac{s}{\frac{10}{2} + 55 + \frac{10}{2}} = 0,02416 \quad \text{und} \quad w_2 = \frac{s}{\frac{30}{2} + 120 + \frac{30}{2}} = 0,01047 \text{ m/Sek.}$$

ergeben, wenn $s = \frac{41,4 \cdot \pi}{4 \cdot 4 \cdot 20,7} = 1,571$ m bedeuten. Die Drehmomente durch Massenbeschleunigung werden hiermit

$$M_1 = \frac{0,02416}{9,81 \cdot 10} [58,0 \cdot 9,0^2 + 57,0 \cdot 8,5^2] = 2,17 \text{ mt} = 2170 \text{ mkg}$$

und

$$M_2 = \frac{0,01047}{9,81 \cdot 30} 8818 = 0,214 \text{ mt} = 214 \text{ mkg.}$$

2. Reibungsmoment am Drehzapfen. Auf den Königsstuhl treffen $\frac{115,0 \cdot 1,96}{2,26} = 100,0$ t; bei 250 kg/qcm Flächendruck wird der Durchmesser des Zapfens:

$$\sqrt{\frac{100000}{250} \cdot \frac{4}{\pi}} \approx 23 \text{ cm}$$

und das Reibungsmoment (vergl. a. Hohnstorfer Brücke)

$$M = 0,10 \cdot 100000 \cdot 0,115 \frac{0,262 - 0,259 \cdot 0,966}{0,259^2} = 202 \text{ mkg.}$$

3. Reibung der Laufräder. Auf beide Laufräder zusammen trifft $\frac{115000 \cdot 0,3}{2,26} = 15270$ kg, da die Belastungsebene der Laufräder 2,26 m Abstand von der Drehachse besitzt. Das Reibungsmoment wird:

$$M = \frac{15270 \cdot 0,1 \cdot 4 + 15270 \cdot 0,055}{50} \cdot 3,2 = 495 \text{ mkg}$$

für 100 cm Rad- und 8 cm Zapfendurchmesser.

4. Windmoment für einseitigen Winddruck von 15 **kg/qm** bei elektrischem Antrieb gibt mit Winddruckfläche 31,8 **qm** und 6,0 **m** Hebelarm

$$M' = 15 \cdot 31,8 \cdot 6,0 = 2860 \text{ mkg}$$

und bei 5 **kg/qm** Winddruck bei Handantrieb:

$$M'' = \frac{1}{3} 2860 = 953 \text{ mkg.}$$

Dementsprechend werden die Zahndrücke:

$$Z' = \frac{2170 + 202 + 495 + 2860}{3,14} = 1825 \text{ kg, bezw. } Z'' = 594 \text{ kg}$$

bei 6,28 **m** Zahnkranzdurchmesser. Der Wind von 5 **kg/qm** gibt

$$\text{während der Beschleunigungsdauer} = \frac{214 + 202 + 495 + 954}{3,14} = 594 \text{ kg}$$

$$\text{und nach der Beschleunigungsdauer} = \frac{202 + 495 + 954}{3,14} = 525 \text{ kg.}$$

5. Das Getriebe ist für 1825 **kg** Zahndruck zu berechnen. Zahnkranzteilung

$$t = 0,12 \sqrt{1825} = 5,1 \text{ cm.}$$

Ritzeldurchmesser 216 **mm**, Zähnezahl 12 bei 56,55 **mm** Teilung. Bei elektrischem Antrieb:

$$v_1 = \frac{0,02416 \cdot 60 \cdot 3,14}{\pi \cdot 0,216} = 6,68 \text{ Umdrehungen des Getriebes in der Minute, bei Handantrieb} = 2,91.$$

a) Mit 1000 Umdrehungen des Motors in der Minute wird die Umdrehungszahl der Kurbelwelle bei 400 **mm** Kurbellänge und 1 **m** Umfangsgeschwindigkeit $v = \frac{60 \cdot 1000}{2 \cdot 400 \cdot \pi} = 23,9$ und das Übersetzungsverhältnis $\xi_1 = \frac{6,68}{1000} = 1:149,7$. Mit dem Wirkungsgrad $\eta = 0,6$ des Antriebsmechanismus wird das Antriebsmoment in der Motorwelle $\frac{1825 \cdot 0,108}{149,7 \cdot 0,6} = 2,20 \text{ mkg}$, die Leistung des Motors $\frac{2,20 \cdot 1000}{716,2} = 3,1 \text{ PS}$.

b) Mit dem Übersetzungsverhältnis $\xi_2 = \frac{2,91}{23,9} = 1:8,2$ und dem Wirkungsgrad $\eta = 0,77$ wird das während der Beschleunigungsdauer einzuleitende Kraftmoment $= \frac{594 \cdot 0,108}{8,2 \cdot 0,77} \cong 10,2 \text{ mkg}$, nach der Beschleunigungsdauer $= \frac{525 \cdot 0,108}{8,2 \cdot 0,77} \cong 9 \text{ mkg}$, mithin die Umfangskraft an der Kurbel:

$$P_1 = \frac{10,2}{0,4} = 25 \text{ kg, bezw. } P_2 = \frac{9}{0,4} = 22,5 \text{ kg,}$$

die 2 Mann leicht leisten.

B) Heben der Brücke. Der größte Druck auf eine Spindel am Brückenende (O) (Textfig. 102, S. 110) beträgt 10,7 **t**. Bei 100 **mm** Spindeldurchmesser, 20 **mm** Steigung, 10 **mm** Gewindetiefe und 8 Gängen in der Mutter wird im Gewinde der Flächendruck:

$$G = \frac{10700}{78,5 - 50,3} \cdot \frac{1}{8} = 47,4 \text{ kg/qcm.}$$

Das Drehmoment an der Spindel wird:

$$M = 10700 \cdot 4,5 \frac{2 + 28,2 \cdot 0,1}{28,2 - 0,1 \cdot 2} = 16560 \text{ cmkg.}$$

und das zu überwindende Lastmoment mithin

$$M = 2 \cdot 16560 = 33130 \text{ cmkg.}$$

a) Zwei Mann an der Kurbel leisten $M = 35 \cdot 40 = 1400 \text{ cmkg}$, so daß mit dem Wirkungsgrad $\eta = 0,65$ des Hubwerkes von Spindel bis zur Kurbel bei Handantrieb das Übersetzungsverhältnis $\xi = \frac{33130}{1400 \cdot 0,65} = 1:36,4$ wird und, mit derselben Umdrehungszahl der Kurbel wie beim Drehen, die Spindel $v = \frac{23,9}{36,4} = 0,656$ Umdrehungen in der Minute vollführt, so daß 100 **mm** Hubhöhe $\frac{100}{2 \cdot 20} = 2,5$ Spindeldrehungen erfordern, und ein Hub von 100 **mm** $\tau = \frac{2,5}{0,656} = 3,8$ Min. braucht.

b) Soll bei elektrischem Antrieb ein Hub bloß $\frac{1}{2}$ Minute dauern, so wird für ein Übersetzungsverhältnis $\xi = \frac{2 \cdot 2,5}{1000} = 1:200$, bei einem Wirkungsgrad $\eta = 0,50$ für das früher gefundene Moment $M = 33130 \text{ cmkg}$ an der Spindel, das Antriebsmoment an der Motorwelle: $M = \frac{331,30}{200 \cdot 0,5} = 3,31 \text{ mkg}$, demnach die erforderliche Motorleistung $= \frac{3,31 \cdot 1000}{716,2} = 4,6 \text{ PS}$.

d) Eisenbahndrehbrücke bei Osterrönfeld (Taf. I, Fig. 1 u. 2).

1. Das größte Winddruckmoment beträgt $213 \text{ mt} = 213\,000 \text{ mkg}$. Hiernach bestimmt sich für $8,72 \text{ m}$ Seiltrommeldurchmesser (Textfig. 170) bei 50 Atm. Druckwasserspannung die Querschnittsfläche des Drehzylinders (Textfig. 169) aus: $\frac{213\,000 \cdot 2}{4,36 \cdot 50} = 1954 \text{ qcm}$; mithin wird dessen Durchmesser rund $0,50 \text{ m}$, und für 70° Drehung der Brücke bei zweifacher Übersetzung (Textfig. 169) der Seilflaschenzüge die Hublänge $= \frac{2 \cdot 4,36 \cdot \pi \cdot 70}{2 \cdot 360} = 2,66 \text{ m}$ gefunden. Bei 48 Atm. Druckwasserspannung und bei 80% Nutzleistung erteilt der Seilzug (Textfig. 169) ein beschleunigendes Moment

$$= 0,8 \cdot 100^2 \cdot \pi \cdot 48 \cdot 43,6 \cdot 0,5 = 1\,640\,000 \text{ cmkg} = 164 \text{ mt},$$

dem bei 10 kg/qm einseitigem Winddruck ein verzögerndes Moment von rund 57 mt entgegenwirkt, mithin ein beschleunigendes Moment von $164 - 57 = 107 \text{ mt}$ übrig bleibt, das für ein Trägheitsmoment $40\,000 \text{ t}$ die Winkelbeschleunigung $p = \frac{107}{40\,000} = 0,0027 \text{ m}$ ergibt, womit die lineare Beschleunigung am äußersten Ende des rund 60 m langen Armes $= 60 \cdot 0,0027 = 0,16 \text{ m}$ wird. Dieses Brückenende muß $60 \cdot \pi \cdot \frac{70}{180} = 73,2 \text{ m}$ Weg zurücklegen. Unter der Annahme, die im ersten Teil ihres Weges erlangte Geschwindigkeit werde durch die auf die Brücke einwirkenden Kräfte bis zu Ende der Drehung gerade auf Null gebracht, ergibt sich bei 20% Reibungswiderständen mit dem verzögernden Moment:

$$0,2 \cdot 0,5 \cdot 1,00^2 \cdot \frac{50}{1000} \cdot 4,36 + 57,0 = 100 \text{ mt}$$

eine Winkelbeschleunigung $= \frac{100}{40\,000} = 0,0025 \text{ m}$ und damit die Verzögerung am Ende des langen Armes $= 0,0025 \cdot 60 = 0,15 \text{ m}$. Diese Verzögerung darf der Beschleunigung im ersten Teil des Weges gleich gesetzt werden, so daß als Zeitdauer τ der Drehung $\tau = 2 \sqrt{\frac{73,2}{0,15}} = 44 \text{ Sek.}$ und als größte Geschwindigkeit $v_{\max} = \frac{1}{2} \cdot 44 \cdot 0,16 = 3,5 \text{ m}$ gefunden wird. In Wirklichkeit wird diese Geschwindigkeit kaum erreicht werden, da sich 3 Phasen ergeben, indem im ersten Zeitabschnitt Druckwasser zutritt, hierauf abgesperrt wird, worauf die Drehgeschwindigkeit infolge der Bewegungswiderstände sich mindert, und im dritten Zeitabschnitt Druckwasser, in entgegengesetzter Richtung bremsend, in die Zylinder eingelassen wird.

2. Hebepresse. Das Gewicht der Brücke einschließlic der Druckwasserdrehzylinder beträgt rund $400 + 25 = 425 \text{ t}$. Für 90% Nutzleistung der Hebepresse findet sich deren Plungerdurchmesser d , weil $F = \frac{425\,000}{0,9 \cdot 50} = 9450 \text{ qcm}$, aus $d = \sqrt{\frac{4 \cdot 9450}{\pi}} \cong 110 \text{ cm}$. Bei 150 mm Hub benötigt der Hebezylinder $\frac{\pi}{4} 11^2 \cdot 1,5 = 142 \text{ Liter}$ Druckflüssigkeit, und jeder Drehzylinder $\frac{\pi}{4} 5,0^2 \cdot 26,6 = 520 \text{ l}$. Das Absetzen der Brücke auf die Mittelstützen (Textfig. 183) und Wiederanheben um 30 mm erfordert $142,5 \cdot \frac{30}{150} = 28,5 \text{ l}$, so daß ein vollständiges Öffnen und Schließen $= 142,5 + 520,0 + 28,5 + 520,0 + 39$ (Zugabe) $= 1250 \text{ Liter}$ verbraucht, wovon 1040 l ($= 83\%$) auf die Drehbewegung entfallen.

e) Amerikanische Drehbrücke mit Rollenkranzlagerung.

1. Trägheit der Massen. Die Armlängen (Textfig. 125 a u. b): $l = 24,0$ und $l' = 21,6 \text{ m}$, also $\lambda = 0,9$; Trägergewicht 100 t ; Ballast 8 t mit 20 m Hebelarm; Brückenbreite 8 m . In 2 Min. soll die Brücke um 90° gedreht werden; Zahnkranzhalbmesser 3 m und Rollenkranzdurchmesser $2,6 \text{ m}$. Nach Gl. b (S. 126) wird $J = \frac{100}{29,43} \left[24^2 (1 - 0,9 + 0,81) + \frac{1}{4} 8^2 \right] + \frac{8 \cdot 20^2}{9,81} = 2156 \text{ mt}$. Nach 60 Sekunden wird die Größtgeschwindigkeit $v_m = \frac{24^2 \cdot 3}{2 \cdot \pi \cdot 3} \cdot \frac{2}{120} = 0,0785 \text{ m}$ erreicht; hieraus wird der Beschleunigungszuwachs: $p = \frac{0,1570}{120} = 0,00131 \text{ m/Sek.}$ und die am Zahnkranz erforderliche Kraft

$$P_1 = \frac{2156}{9} \cdot 0,00131 = 0,312 \text{ t.}$$

2. Die Reibung am Rollenkranz wird $100 \cdot 0,003 = 0,30 \text{ t}$, mithin am Zahnkranz:

$$P_2 = 0,30 \cdot \frac{2,6}{3,0} = 0,260 \text{ t.}$$

3. Winddruck. α) Reibung der Auflagerrollen an den Enden (Textfig. 93 *b*), Rollendurchmesser 0,2 m. Der Winddruck 21,0 t erfordert $P_3 = \frac{21,0 \cdot 0,10 \cdot 0,2}{3,0} = 0,140$ t. β) am Rollenkranz, Rollenabstand 5,2 m; Windangriffspunkt 1,4 m oberhalb der Laufbahn. Rollenbelastung aus Windmoment: $21,0 \cdot \frac{1,4}{5,2} = 5,66$ t, daher $P_4 = 5,66 \cdot 0,003 \cdot \frac{2,6}{3,0} = 0,015$ t.

4. Reibung im Getriebe (Textfig. 126). Die Anzahl der Zähne sei $Z_1 = 28$; $Z_2 = 40$; $Z_3 = 16$; $Z_4 = 50$ und $Z_5 = 13$; ferner $k = 0,40$ und $r_1 = 0,114$ m. Für 20 kg Kurbeldruck eines Mannes und dem Übersetzungsverhältnis $\xi = \frac{50}{13} \cdot \frac{40}{16} \cdot \frac{0,400}{0,114} = 33,8$ wird die Reibung des Getriebes:

$$P_5 = 33,8 \cdot 20 \cdot 0,10 = 67,6 \text{ kg} = 0,068 \text{ t.}$$

5. Kraftbedarf. Zur Überwindung dieses Getriebewiderstandes ist bei 32 mm Durchmesser der Welle W_1 (Textfig. 126) $0,068 \cdot \frac{0,032}{0,400} \cong 5,5$ kg Kurbeldruck erforderlich. Mithin leistet ein Arbeiter $Q = (20 - 5,5) 33,8 = 512$ kg = 0,512 t. Erforderlich sind nach dem Früheren: $0,312 + 0,260 + 0,140 + 0,015 = 0,727$ t. Ein Arbeiter genügt nicht, aber zwei Arbeiter brauchen an der Doppelkurbel nur mehr je $20 \cdot \frac{727}{1024} = 14,2$ kg zu leisten.

6. Zeitaufwand. Bei einer Umdrehung der Kurbeln in 3 Sekunden, $0,198 \cdot 3,1416 = 0,621$ m Ritzelumfang und 3 m Zahnkranzhalmmesser vollführt das Ritzel $\frac{2 \cdot 3 \cdot \pi \cdot 90}{0,621 \cdot 360} = 7,6$, mithin die Kurbel $7,6 \cdot 33,8 = 256$ Umdrehungen, woraus $\frac{256}{3} \cong 86$ Sekunden = 1 Minute 26 Sekunden Öffnungs- oder Schließungszeit gefunden wird. Nach Gl. 1. (S. 128) erhält man kürzer: $\sigma = \frac{6 \cdot 33,8}{4 \cdot 0,198 \cdot 3} \cong 86$ Sekunden.

§ 46. Feststellvorrichtungen. Die Lage der geschlossenen Brücke gegen seitliche Bewegung findet man bei manchen kleineren Brücken nur durch am Endpfeiler drehbar befestigte einfallende Klinken aus Schmiedeisen gehalten. Zweckmäßiger und sicherer ist jedoch die Anwendung von Riegeln, welche verschieden angeordnet werden. Entweder schiebt man diese vom Lande aus in den beweglichen Überbau der Brücke hinein (große Weser-Brücke, Bremen; Hunte-Brücke Elsfleth, wo die Riegelkonstruktion ganz wie in Textfig. 214, § 95 ausgeführt ist: n = Riegel, m = an der Brücke befestigte Öse, o = Führungen, p = Sicherheitsgegengewicht) oder umgekehrt. Bei oft zu öffnenden größeren Brücken ist es zweckmäßig, wenn die Handhabung zum Ent- und Verriegeln der Brücke bloß von einem Ende oder, noch besser, von der Stelle, von der aus die Bewegungsvorrichtungen in Tätigkeit gesetzt werden, erfolgt. Hierdurch wird der Betrieb einheitlich und übersichtlich gestaltet, sowie an Zeit erspart.

Die Textfig. 129 (S. 130) zeigen die Konstruktion an dem langen Arme der Hohnstorfer Elbbrücke. Das I-Eisen m gehört der Drehbrücke an. Zur leichteren Handhabung des Stellhebels τ dient das Gegengewicht δ (Textfig. 129). In jeder Endstellung wird der Hebel τ durch einen Stift gehalten. Auch an dem kurzen Arme dieser Drehbrücke ist ein Schubriegel angebracht, welcher von der Mitte aus durch Umlegen eines Gewichtes bewegt wird.

Zur Bewegung der konisch zugespitzten, 102 mm starken Riegel b der Point-Street-Brücke in Providence (Textfig. 95, S. 100) dient eine Drahttransmission a . Die Verriegelung der Greenpoint-Drehbrücke in New York erfolgt durch ein Gestänge S , an dessen Ende ein Riegel sich befindet, der mittels einer Rolle r in eine im Widerlagsmauerwerk befindlichen Hülse eingeführt wird (Textfig. 94, S. 100).

Bei der beiderseitig ausdrehbaren Brücke im Hafen von Ruhrort (Textfig. 107, S. 111) ist keine eigentliche Riegelungsvorrichtung, sondern bloß eine eigenartige Bremsvorrichtung (Fortschrittsheft S. 18, Fig. 21 *a* u. *b*) angeordnet.

Die Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg verwendet öfters eine erprobte Verriegelungsvorrichtung, deren richtige Einstellung auf Federwirkung beruht (Textfig. 102, 195 u. 196, sowie Fortschrittsheft S. 20, Fig. 22 *b* u. *c*). Die Verriegelung erfolgt vor-

übergehend durch die in der Längsachse befindliche Klinke am Ende des kurzen Armes, dauernd durch das feste Auflager am Ende des langen Armes (Fortschrittsheft S. 20, Fig. 22f). Näheres siehe Fortschrittsheft S. 21.

Auch bei der schweren Drehbrücke im Industriehafen in Mannheim (§ 90) ist nächst den Hubspindeln am einen Brückenende diese Federpufferung angeordnet, die beim Anlegen der Brücke an den Widerlagern die Bewegung hemmt und die Brücke zentriert, so daß vom festen Widerlager aus ein Riegel eingeschoben werden kann.

Über die eigenartige Verriegelung der Drehbrücke des Nord-Ostsee-Kanals vergl. Textfig. 180a bis c (§ 84, a.), welche den am langen Arm befindlichen Riegel darstellt.

Bei der 746 t schweren Hawarden-Drehbrücke hat die lotrechte Schaukelbewegung die Brücke in die richtige Stellung zu bringen und auch darin zu sichern. Prefskolben heben das Ende des kurzen Armes, welches einen Anschlag besitzt, der in eine im Widerlager befindliche feste Rille paßt. Ist die richtige Stellung erreicht, so greifen feste Gußblöcke unterhalb der Hauptträger in das Schwanzstück und halten, ein festes Auflager für den kurzen Arm bildend, die Brücke in wagerechter Richtung fest (Fortschrittsheft S. 25 und Litt. 80 nach § 94).

Bei der 58,11 m langen Clarence-Drehbrücke bei Cardiff laufen von Pfeilermitte 2 Längswellen zu den Brückenenden, von denen eine mittels eines Federbolzens die wagerechte, die andere in eigenartiger Weise die lotrechte Bewegung der Brücke bewirkt (Fortschrittsheft S. 29, Fig. 34a u. b und Litt. 96 nach § 94).

Bei der 153,3 m langen und 809 t schweren gleicharmigen Drehbrücke über den Themsefluß in Neu London ist außer der wagerechten Verriegelung auch eine lotrechte gegen Abheben vorgesehen, da am einen Ende einfahrende Züge das andere Brückenende um 63 mm abheben würden (Fortschrittsheft S. 33 und Litt. 85 nach § 94); die Bedienung aller Verriegelungen erfolgt einheitlich vom Maschinenhaus über dem Pfeilerfach aus.

Einen selbsttätigen Drehbrückenverschluss nach dem Vorschlag Fowler's siehe Fortschrittsheft S. 39, Fig. 51 und Litt. 187 nach § 94, sowie über eine selbsttätige Riegelvorrichtung einer belgischen Drehbrücke siehe Fortschrittsheft S. 49, Fig. 60 u. Litt. 197 nach § 94.

Bei zweiflügeligen Brücken (Doppeldrehbrücken) muß außer an den Landenden auch noch an der Zusammenstoßstelle der Flügel für gehörige Feststellung gesorgt werden. Bei der Dobbeldam-Brücke z. B. (Textfig. 108) sind an den Landenden Fallklinken, an dem Vorderende *c* vier durch Zahnräder zu bewegende Riegel *v* angebracht. Bei der Straßendrehbrücke bei Columbus (Cleveland) erfolgt die Verbindung beider Drehbrücken durch zwei kräftige Riegel von je 140 mm Durchmesser (Fortschrittsheft S. 42, Fig. 56); die Fuge der Brückentafel daselbst wird durch eine besondere Schürze, die vor dem Ausdrehen maschinell gehoben werden muß, geschlossen. Die Verriegelung und Verankerung an den kurzen Armen erfolgt durch Kniehebel mit Kugellagern (Fortschrittsheft S. 41, Fig. 55 u. Litt. nach § 94). Ob sich die Verriegelung in Brückenmitte auf die Dauer bewähren wird, ist wegen des erheblichen Biegemomentes, dem der Riegel ausgesetzt erscheint, ungewiß.

Eine kräftige Riegelverbindung beider Flügel besitzt auch die von Pfeiler zu Pfeiler 117,6 m lange Penfeld-Drehbrücke bei Brest (Litt. 11 nach § 94).

Bezüglich der sehr beachtenswerten und zweckentsprechenden Ausgestaltung der Verriegelung in Brückenmitte und an den Widerlagern, sowie der Niederankerung an-

der Herrenbrücke bei Lübeck vergl. Taf. III, Fig. 15 bis 18; Textfig. 203 bis 205 und § 91.

Man findet auch gleichzeitig mit Riegeln die Anwendung von Einklinkungen. So wird z. B. bei der Parnitz-Brücke der Berlin-Stettiner Bahn das eine Ende mittels Riegel festgestellt. Am anderen Ende der Brücke ruhen die Träger auf gußeisernen Platten, von denen die eine mit einer Erhöhung versehen ist, in welche die an der Drehbrücke befestigte, vor dem Aufdrehen der Brücke zu lösende Klinke einfällt.

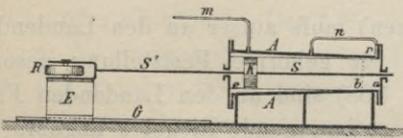
§ 47. Hemm-, Brems- und Signalvorrichtungen. a) Zu den Feststellvorrichtungen gehören auch die bei manchen Brücken am Pfeiler angebrachten Buffer, gegen welche entsprechende vorspringende Teile des beweglichen Überbaues stoßen und so den Drehwinkel begrenzen (Hohnstorf, Cuxhaven: Textfig. 194 d^2). Zu gleichem Zwecke bringt man auch an der betreffenden Stelle eine hemmende Überhöhung des Schienenlaufkranzes am Drehpfeiler an (Kahnfahrt-Brücke).

Bei der Niederbaum-Brücke in Hamburg sind ebenfalls außer den Riegeln am Widerlager, welche seitens des zweiten Brückenwärters (der erste behält den Wassersteuerhebel e , Textfig. 130 c , in der Hand, vergl. § 44, S. 123) durch die Kurbel z (Textfig. 130 b u. c), die Räderübersetzung z_1 , das Zahnrad z_2 und die Zahnstange z_3 bewegt werden, zum Festhalten der einschwenkenden Drehbrücke in der Ruhelage eine Bufferfalle angebracht. Wenn nun das Ende der Brücke behufs Unterbringung der Pendelaufleger mittels der Kniehebel gehoben wird (vergl. Textfig. 130 und § 44, S. 124), so steigt das untere Ende der Bufferfalle derart, daß sie der ausschwenkenden Drehbrücke kein Hindernis mehr bietet (Litt. 55 nach § 94).

Für große und sehr schwere Drehbrücken genügen jedoch solche einfache Vorrichtungen nicht immer. Gewöhnliche Federbuffer sind in solchen Fällen deshalb nicht geeignet, weil dieselben einen stets gleichen Widerstand leisten. Sind die Federn für die größte Geschwindigkeit der sich schließenden Brücke ausgeführt, so werden dieselben, falls die Brücke aus irgend welchem Grunde langsamer einschwenken sollte, das vollkommene Schließen der letzteren verhindern.

Barret hat daher für die neue Marseiller Brücke einen Wasserdruckbuffer (Textfig. 131) konstruiert, welcher nicht als Feder, sondern als Bremse wirkt. Dieser Buffer besteht aus einem gußeisernen Empfänger A , in dem ein zylindrischer Kolben K mit den beiden verschieden starken Kolbenstangen s und s' sich bewegt. s' ist die stärkere Stange. R stellt eine Reibungsrolle dar, deren Unterstützungsschlitzen E auf der Schiene G gleitet. Das Innere des Empfängers ist von a bis b genau zylindrisch; von b bis c sind jedoch in der Zylinderleibung sich von Null an allmählich erweiternde V-förmige Nuten angebracht.

Fig. 131.



Beim Einschwenken der Brücke wird der Kolben K in den Empfänger A eingeschoben; der Nutquerschnitt zwischen Kolben K und Zylinder A wird immer kleiner und schließlich gleich Null. Infolge dessen wird das Wasser vor dem Kolben K herausgepreßt und geht mit immer größerer Geschwindigkeit nach der hinteren Seite des Kolbens hinüber. Wenn der Kolben schließlich in dem zylindrischen Teil ab angelangt ist, so beschränkt sich der Wasserüberlauf auf diejenige Menge, welche durch den Hahn r und das Rohr n nach der Hinterseite von K geführt werden kann.

Da hierbei die zu bewegendes Wassermenge nur klein und die Geschwindigkeit der Brücke gering ist, so hindert der Bufferwiderstand ein vollständiges Einschwenken der Brücke in ihre Schlußstellung nicht.

Käme die Brücke mit zu großer Geschwindigkeit an, so würde deren lebendige Kraft dem vor dem Kolben K befindlichen Wasser eine so große Geschwindigkeit erteilen, daß die lebendige Kraft bald aufgezehrt werden müßte. Der Druckwasserbuffer wirkt also tatsächlich als Bremse.

Über die konstruktive Ausgestaltung und Wirkungsweise der Druckwasserbuffer *B* der Drehbrücke über den Nord-Ostsee-Kanal (Textfig. 165 u. 175) siehe § 84.

Die mit Druckluft arbeitende Bremsung der 1200 t schweren, 73,1 m langen und 30,5 m breiten gleicharmigen Drehbrücke bei Charlestown (Boston) zeigt Textfig. 132, deren Wirkungsweise keiner näheren Erklärung bedarf. Die Bandbremse soll hauptsächlich bei Windwirkung regelnd eingreifen (vergl. Litt. 153 nach § 94).

b) Signalvorrichtungen. Was letztere bei Drehbrücken anlangt, so sind dieselben so anzuordnen, daß das Signal niemals anders als auf „Halt“ stehen kann, wenn die Brücke nicht vollständig geschlossen und festgeriegelt ist. Andererseits muß es jedoch möglich sein, auch für die eingeschwenkte und fahrbare Brücke aus irgend einem Grunde das Signal „Halt“ zu stellen.

Recht einfach und sicher ist die Anordnung bei den Drehbrücken der Altona-Kieler und der Schleswig'schen Bahn. Hier ist das 300 m entfernte Deckungssignal mittels eines Drahtzuges und einer Kette am Ende des letzteren mit der an dem Träger der Brücke befestigten Windevorrichtung (Walze mit Kurbel) in Verbindung gebracht. Die Brücke kann nur dann geöffnet werden, wenn die Kette von der Walze abgehakt oder gewaltsam abgerissen wird, und in beiden Fällen stellt sich das Deckungssignal auf „Halt“.

Fig. 132. M. 1 : 35.

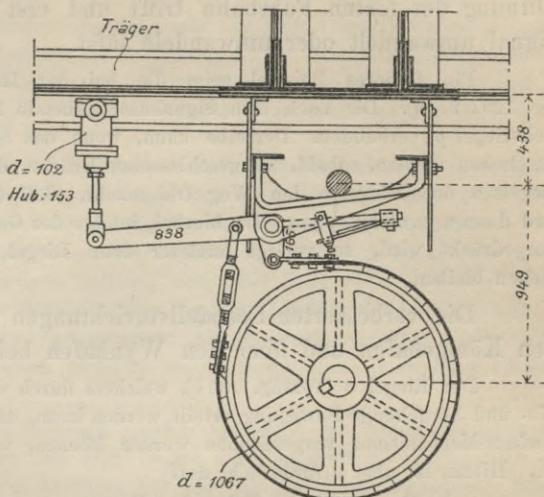


Fig. 133.
Abhängigkeit
zwischen
Anhub-Vorrichtung
und
Brückensignal.
Spoey-Kanal bei
Cleve.

M. 1 : 48.

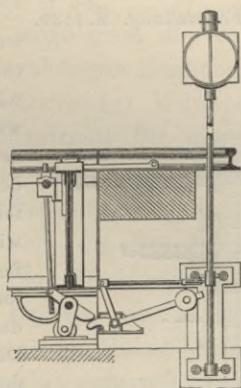
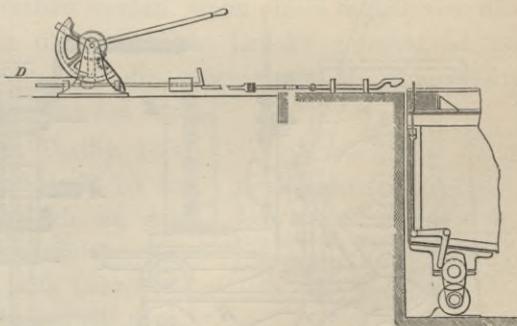


Fig. 134. Holländische Eisenbahn. Verbindung der Aufsetzvorrichtung mit dem Distanzsignal. M. 1 : 50.



Manchmal ist das Signal mit der Vorrichtung zum Heben und Senken des Aufslagers zwangsläufig verbunden (Textfig. 133), doch ist diese Anordnung nicht ganz sicher, wenn das Signal allmählich erscheint und Halbstellungen bei unvollständig gehobener Brücke zu Irrtümern Veranlassung geben können. Dies ist bei einer Einrichtung, wie dieselbe von der Holländischen Eisenbahn benutzt wird (Textfig. 134), nicht zu befürchten. Das Signal „Freie Fahrt“ kann hier mittels des Drahtes *D* nicht gezogen werden, ohne daß die Brücke geschlossen oder richtig aufgesetzt ist.

Oft ist die Stellung des Signals von der Stellung der Sicherheitsriegel abhängig gemacht. So hat man bei der Parnitz-Brücke (Litt. 17 nach § 94) einen Schubriegel am beweglichen Überbau angebracht, welcher bei richtiger Stellung in eine entsprechende Öffnung der festen Fahrbahn trifft und erst nach Durchdringung derselben das Halt-signal umwandelt oder umwandeln läßt.

Ein ferneres Beispiel zeigt die bei der Hohnstorfer Brücke getroffene Anordnung (Textfig. 129 *l* u. *m*). Die nach dem Signalmast gehende Zugstange ϑ (Textfig. 129 *m*) ist mit dem Sicherheitsriegel ρ verbunden. Derselbe kann, wenn das Signal „Frei“ gestellt werden soll, nur dann vorgeschoben werden, sobald, bei geschlossener Brücke, der entsprechende Ausschnitt des Hauptverschlussriegels α dem Riegel ρ den Weg frei macht. Soll die Brücke gedreht werden, so wird zunächst ρ und dann α zurückgezogen. Da hierbei, infolge des Gegengewichtes β (Textfig. 129 *k* u. *l*), der Daumen λ vorgedrückt wird, so verlegt letzterer dem Riegel ρ den Weg und das Signal muß auf „Halt“ stehen bleiben.

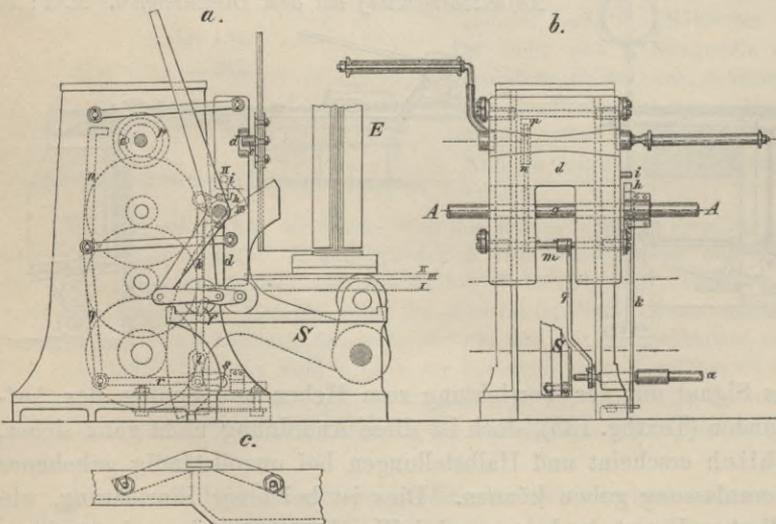
Die verbesserten Feststellvorrichtungen an den doppelgleisigen Drehbrücken über den Königshafen und über den Wynhafen bei Rotterdam zeigt die Textfig. 135.

Der Riegel a (Textfig. 135 *b*), welchem durch einen entsprechenden Riegel am Blockapparat eine hin- und hergehende Bewegung erteilt werden kann, darf erst dann behufs Festhaltung des Drehbrücken-Aufsatz-Mechanismus vorgeschoben werden können, wenn die Drehbrücke befahrbar gemacht worden ist. Hierzu ist aber erforderlich, daß

- A. dieselbe in der Bahnachse liegt;
- B. ein gezahnter Sektor des Aufsatzwindwerkes, welcher mit der Rolle für das Aufheben und Sinkenlassen des nicht von selbst auflaufenden Drehbrückenendes (siehe § 42, vorletzter Absatz) fest verbunden ist, denjenigen Stand annimmt, welcher dem Zustande entspricht, wobei dieses Brückenende auf den vorgeschobenen Stützrollen ruht (siehe Wagerechte III in Textfig. 135 *a*) und der Sektor soweit zurückgedreht ist, daß die Heberolle nicht mehr in Berührung mit der Brücke steht (siehe Wagerechte I);
- C. die Achse, mittels welcher diese Stützrollen unter das Brückenende geschoben werden, denjenigen Stand annimmt, bei welchem die Rollen sich wirklich unter der Brücke befinden;
- D. die beiden Kurbelarme des Windwerks, mittels welcher der Sektor S nebst den Heberollen bewegt wurde, nunmehr unbeweglich festgestellt worden sind.

Diesen vier Bedingungen ist in nachstehender Weise entsprochen worden:

Fig. 135. Drehbrücke zwischen Rotterdam und Ysselmonde. Feststellung. M. 1:30.



A Achse für die Bewegung der vier Stützrollen.
E Endquerträger der Drehbrücke.
S Sektor für die Bewegung der Heberolle.

1. Das Gewicht d , welches so schwer ist, daß es seitens des Brückenwärters nicht ohne Hilfswerkzeuge bewegt werden kann, wird durch den an der Brücke befestigten und in das Gewicht eingreifenden Zapfen e gezwungen, den lotrechten Bewegungen der Brücke zu folgen. Da nun die Brücke in der Bahnachse liegen muß, um das Gewicht d zu bewegen, und weil die lotrechten Bewegungen der letzteren benutzt werden, um die Stützrollen verschieben und feststellen zu können (vergl. unter 3.), so ist der Bedingung unter A. genügt.

2. Die Feststellstange a (Textfig. 135 b) kann mit ihrem Ende (schwächster Teil) nur bei derjenigen Stellung des Sektors in den letzteren vorgeschoben werden, wenn der Sektor den unter B. beschriebenen Stand eingenommen hat, beziehentlich wenn die in diesem Sektor befindliche, längliche Öffnung f in der Längsachse der Stange a steht. Hierdurch wird die Bedingung unter B. erfüllt.

3. Auf der Achse g ist der Lappen h derart befestigt, daß der Stift i am Gewichte d beim niedrigsten Stande des letzteren (entsprechend dem Stande I, Textfig. 135 a , des Stiftes i) vor diesem Lappen liegt und somit dessen Drehung, sowie die Bewegung der Stützrollen verhindert, während a diese Drehung nicht verhindert, wenn das Gewicht d seinen höchsten Stand (entsprechend der Stellung II des Stiftes i) einnimmt.

Mit dem Lappen h ist eine Schieberstange k verbunden, so daß dieselbe auf- und niedergeht, wenn die Achse gedreht wird. Die Stange k gestattet nur dann den Durchgang des stärksten Teiles des Riegels a , wenn die Erweiterung l des Schlitzes, welcher sich in der Schieberstange befindet, in der Längsachse des Riegels a liegt. Dies ist der Fall, wenn die Drehung der Achse g beendet ist, beziehentlich wenn die Stützrollen sich in der richtigen Stellung unter der Drehbrücke befinden. Der Lappen h ist außerdem noch so geformt, daß der Stift i sich in den Einschnitt III des Lappens hineinlegt, wenn die Drehbrücke sich auf die Stützrollen niedergelassen hat, wodurch zugleich das Zurückschieben der Stützrollen für diesen Zustand unmöglich gemacht wird. Durch diese Anordnung ist der Bedingung C. entsprochen worden.

4. Ferner ist auf der Achse m ein Hebel n befestigt, welcher außerhalb des Windewerkgehäuses liegt und von Hand bewegt werden kann; jedoch nur dann, wenn der Einschnitt o , welcher sich in der auf der Handkurbelachse befestigten Scheibe p befindet, mit der am Hebel n vorhandenen Nase übereinstimmt. Wird die Achse m mittels des Hebels n gedreht, wobei die Nase des letzteren in den Einschnitt o der Scheibe p eingreift, so wird jede Bewegung des Windewerkes für diesen Zustand unmöglich gemacht.

Durch die Drehung der Achse m bewegt sich auch der auf derselben befestigte Hebel q und gleichzeitig die damit verbundene Schieberstange r . Findet der vollständige Eingriff der Nase des Hebels n in den Einschnitt o der Scheibe p statt, so nimmt die Stange r eine solche Stellung ein, daß die Erweiterung s des Schlitzes, welcher sich in dieser Stange befindet, in der geometrischen Achse der mit dem Blockapparat verbundenen Feststellstange a liegt. Nur in diesem Falle kann das Ende der Stange a (mittelstarker Teil) den Schlitz der Stange r passieren. Hiermit wird die Bedingung unter D. erfüllt.

Über Verbesserungen der Feststellvorrichtungen der Niederländischen Staatsbahn siehe Litt. 176 nach § 94.

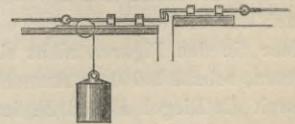
Schließlich möge noch die Verbindung des Brückendeckungs- bzw. Abstandsignals mit dem zugehörigen Zughebel besprochen werden, wenn dieses Signal von dem Standpunkte des betreffenden Wärters durch die bewegliche Brücke getrennt ist und der Bewegungsmechanismus für dieses Signal durch die geschlossene Brücke geführt, dagegen bei ausgedrehter Brücke unterbrochen werden muß.

Ein Beispiel (Berlin-Stettiner Bahn) zeigt Textfig. 136. Der oben, an der Seite der Brücke, geführte Draht ist an den beiden Enden der Drehbrücke, beziehentlich an den Enden der festen Brücke, mit je einer Flachschiene verbunden, welche in einem Haken endigt, so daß beim Anziehen des Drahtes eine sichere Verbindung hergestellt wird, während beim Senken der Drehbrücke die Haken sich lotrecht und seitwärts frei bewegen können. Um den Drahtzug auf der beweglichen Brücke in Spannung zu erhalten, ist ein in Rollen laufendes Gegengewicht angebracht.

Der Spandauer Bahnhof wird durch das von der Endweichenstellerbude E (Textfig. 137 a) zu regierende, auf der anderen Seite der Haveldrehbrücke stehende Abschlusssignal A gedeckt. Von dem betreffenden Stellhebel in der Bude E führt ein doppelter, 4 mm starker Stahldrahtzug bis vor die etwa 200 m entfernte Drehbrücke, wo er um eine Kettenrolle A (Textfig. 137 b) herum geleitet ist. Auf der Dreh-

Fig. 136.

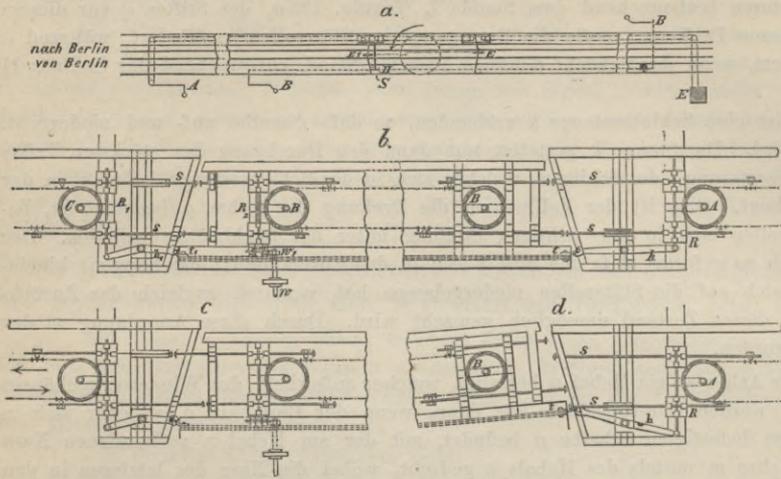
*Berlin-Stettiner Eisenbahn.
Einschaltung des über die
Drehbrücke nach dem Bahn-
hofs-Abschlusssignal führen-
den Drahtes.*



brücke selbst liegt ein gleicher Drahtzug ohne Ende, um die Rollen B und B_1 gespannt, und schliesslich beginnt jenseits der Drehbrücke wieder ein doppelter Drahtzug an der Kettenrolle C , welche unmittelbar an den etwa 400 m weiter stehenden Abschlufs-Telegraphen führt. An den beiden Enden der

Fig. 137.

Abhängigkeit zwischen Bahnhofs-Abschlufssignal und Drehbrücke in Spandau.



Die Textfig. 137 *b* deutet die Stellung an, wenn die Brücke durch den vom Brückenwärter bedienten Hebel bei E und E_1 (Textfig. 137 *a*) eingeriegelt und kein Einfahrtsignal von der Station gegeben ist. Wird das Signal nun gezogen, so bewegen sich die Leitungen wie in Textfig. 137 *c* mit Pfeilen angedeutet, und der Apparat nimmt die Stellung nach Textfig. 137 *c* ein. Die Bufferscheiben haben sich verschoben. Der Stellhebel H ist festgehalten. Letzteres ist dadurch erzielt, dass an dem Ende der an dem Hebel H hängenden durchgehenden Welle ω , von welcher aus sowohl die Riegel E und E_1 bewegt, als auch die Pendellager der Brücke gehoben und gesenkt werden, ein Winkelhebel ω_1 (Textfig. 137 *b*) befestigt ist, welcher den in festen Führungen angebrachten Riegel R_2 vorwärts oder rückwärts bewegt. Dieser Riegel R_2 ist eine Flachschiene mit Einschnitten, welche sich rechtwinklig unter den ebenfalls mit Einschnitten versehenen Bufferstangen bewegt und in ähnlicher Weise wie bei den bekannten Weichenverriegelungen wirkt.

In der Textfig. 137 *c* entsprechen sich die Einschnitte nicht, der Riegel R_2 kann sich nicht rechtwinklig zu den Stangen $ss \dots$ bewegen und macht damit auch die Drehung der Welle ω und das Herausziehen des Hebels H bei Signalstellung „Bahn frei“ unmöglich.

Es möge nun angenommen werden, das Einfahrtsignal sei wieder eingezogen, die Vorrichtung in die Stellung Textfig. 137 *b* zurückgegangen und die Brücke soll ausgeschwenkt werden (Textfig. 137 *d*). Der Brückenwärter legt den Stellhebel H von links nach rechts, schiebt damit den Riegel R_2 durch die Bufferstangen $ss \dots$ und stellt dadurch die Signalleitung der Brücke fest. Sobald die Brücke sich in der in Textfig. 137 *a* angegebenen Pfeilrichtung bewegt, drücken die mit dem einen Langträger der Brücke fest verschraubten Anschlagstäbe t und t_1 gegen die kurzen Klauenschenkel der auf den festen Brückenenden angebrachten Winkelhebel h und h_1 , wodurch diese Hebel sich um ihre Drehzapfen bewegen und die an den anderen Hebelarmen angehängten Riegel R [und R_1 durch die festen Bufferstangen ss der festen Signalleitung schieben. Diese Riegel sind genau so angebracht, wie die Riegel R_2 , führen die nämlichen Einschnitte, welche mit denen der Bufferstangen übereinstimmen, und machen nach der beschriebenen Bewegung der Signalleitungen unbeweglich. Die Riegel R und R_1 sind mit je einer (in den Figuren nicht sichtbaren) Spiralfeder derart verbunden, dass diese Federn in Wirksamkeit treten, sobald bei dem Ausschwenken der Brücke die Anschlagstäbe t und t_1 die Klauen verlassen, wodurch die Riegel R und R_1 immer vollständig durch die Bufferstangen gezogen werden.

Auf die sehr verschiedenartig ausgebildeten Anordnungen der neueren zur Sicherung des Eisenbahnverkehrs über Drehbrücken, sowie über bewegliche Brücken überhaupt, dienenden Vorkehrungen, die in sachdienlicher Anpassung der dem Signal- und Blockierungswesen des Eisenbahnbetriebes dienenden Vorrichtungen bestehen, kann hier

Drehbrücke und den zugehörigen Enden der festen Brücke sind in die Draht- und Kettenzüge gradlinig geführte Flachschiene $ss \dots$ eingehängt, welche an ihren Enden Bufferscheiben führen. Diese Flachschiene machen die Bewegung der Drahtzüge mit und übertragen die Bewegung der einzelnen Teile aufeinander. Die um die Rollen geschlungenen Ketten, d. h. die Enden der Leitungen, sind mit den Flanschen der Kettenrollen an einer Seite fest verstiftet.

nicht eingegangen werden. Bei den mit Preßluft und Elektrizität betriebenen beweglichen Brücken lassen sich diese Anordnungen am bequemsten anbringen, wobei eine zentrale und einheitliche Bedienung der Brücke erreicht wird. Kurze Andeutungen hierüber enthalten die §§ 84 bis 91.

§ 48. Die Pfeiler der Drehbrücken. Anlagen zur Erleichterung der Schifffahrt durch die Brücke. Die Pfeiler werden in den meisten Fällen aus Stein hergestellt (vergl. Taf. I, Fig. 1, 2 u. 17; Taf. III, Fig. 8, 9, 15, 16 u. 18; Textfig. 102, 103, 104, 105, 107, 116, 122, 130, 185, 188, 193, 198, 209, 210), doch können Preisverhältnisse, Schwierigkeit der Gründung, Kürze der Bauzeit u. a. auch zur Anwendung von eisernen und sogar von hölzernen Pfeilern führen. Man findet auch Betonpfeiler mit Quader- oder Ziegelmauerwerkummantelung (Hawarden-Drehbrücke, Fortschrittshft S. 22, Fig. 25).

Die steinernen Mittel- oder Drehpfeiler erhalten die Form eines Kreiszylinders bzw. eines nach oben sich schwach verjüngenden, abgestumpften Kreiskegels oder es wird der unter Hochwasser kommende Pfeilerteil mit Vorköpfen versehen. Selten führt man die Vorkopfschneiden bis zur Pfeiloberkante hinauf (Textfig. 105).

Auch neuere Ausführungen zeigen mehrfach unrunder Pfeilerquerschnitt (Textfig. 188 u. 212 *b*, Fortschrittshft S. 12, Fig. 16; S. 15, Fig. 18; S. 26, Fig. 29 und S. 41, Fig. 55 *a*).

Die obere Stärke des Mittelpfeilers richtet sich hauptsächlich nach dem Durchmesser des Stützrollen-Laufkranzes, da der Abstand von diesem bis zur Mauerkante noch etwa 0,3 bis 0,5 m betragen soll (Textfig. 103, 105, 114, 116, 122, 129 u. 130). Die Größe des Laufkranz-Durchmessers bei verschiedenen ausgeführten Drehbrücken ist aus der Tabelle nach § 94 zu ersehen. Ist die Drehbrücke ohne Rollkranz ausgeführt, so kann auch der Mittelpfeiler gewöhnlich wesentlich schwächer gehalten werden. In diesem Falle wird die kleinste obere Pfeilerstärke (außer durch die allgemeine Standfestigkeit des Pfeilers) durch die Entfernung der äußersten Hauptträger bzw. der unter denselben etwa angebrachten Stützen bedingt. Besitzt die Drehbrücke einen Königsstuhl, erfolgt aber die Bewegung durch Seil- oder Kettenantrieb, so wird der Durchmesser des Drehzylinders groß gewählt, um an Dreharbeit zu sparen (Textfig. 107, 179, 185 u. 212), wobei zugleich auch der nötige Raum für den Königsstuhl und den Bewegungsmechanismus gewonnen werden kann (Textfig. 183 u. 185).

In dem oberen Teile des Mittelpfeilers kommen in manchen Fällen durch die Anordnung der Drehbrücke bedingte Hohlräume vor (vergl. Textfig. 130, 179, 183, 185, 198 u. 200), die, im Falle sie unter das Hochwasser reichen, wasserdicht abgeschlossen werden müssen.

In dem kreisrunden Hohlraum (5,5 m Durchmesser) des 7,5 m starken Mittelpfeilers der Niederbaum-Brücke in Hamburg (Textfig. 130) befindet sich der Druckwasser-Drehmechanismus. Zum Schutze gegen Schnee und Regen ist dieser Hohlraum mit einem hölzernen Dache überdeckt, welches unter der Drehbrücke angebracht, sich mit diesem dreht und am Zahnkranze δ (für den Handbetrieb) eine Segeltuch-Dichtung hat. Der Drehpfeiler, dessen Dichtigkeit gegen Hochwasserstände, die bis 2 m über Sohlenhöhe des Innenraumes gestiegen sind, sich bereits bewährt hat, ist mit einer Ablaufvorrichtung versehen, welche alles Leckwasser bei niedrigen Elbwasserständen ableitet. Bei Hochwasserständen über 7,5 m am Pegel, wie sie in Hamburg durchschnittlich alle $2\frac{1}{2}$ Jahre vorkommen, ertrinkt der Drehpfeiler; daher sind Vorkehrungen

getroffen, dafs durch eine zeitweilige Überschwemmung dem Drehmechanismus nicht geschadet oder derselbe doch mit leichter Mühe wieder gereinigt und in Stand gesetzt werden kann. Desgleichen ist der Pfeilerhohlraum der Baakenbrücke in Hamburg (Fortschrittsheft S. 12, Fig. 14 u. 15 und Litt. 89 nach § 94) durch eine 2,7 t schwere gufseiserne Tür wasserdicht abgeschlossen. Die Dichtung durch eine Gummischnur hat sich bewährt. Auch die Pfeilerhöhlräume der Nord-Ostsee-Kanal-Drehbrücken sind entsprechend abgeschlossen.

Besitzt die Drehbrücke keinen eigentlichen Mittelpfeiler, sondern steht der Drehpfeiler in unmittelbarer Verbindung mit dem Ufer (Textfig. 106, 110 bis 113, 167, 192, 195 u. 196), so erhalten oft diejenigen Mauerwerksteile, welche stärkere Drücke (vom Drehzapfen, Stützrollen oder Lagern) auszuhalten haben, gröfsere Gründungstiefe als das übrige Mauerwerk.

Bei zweiteiligen Drehbrücken, deren Hauptträger in geschlossenem Zustande als Bogenträger wirken (Textfig. 124, S. 119), wäre auf den Kämpferschub der letzteren Rücksicht zu nehmen, doch wird diese Anordnung ihrer Mangelhaftigkeit halber künftighin kaum mehr getroffen werden.

Die Endpfeiler der Drehbrücken unterscheiden sich wenig von den Endpfeilern fester Brücken. Selbstverständlich ist durch entsprechende Gestaltung des oberen Pfeilerteiles für den richtigen Anschluß des beweglichen Überbaues an die feste Fahrbahn zu sorgen (Textfig. 104 u. 129).

Die eisernen Pfeiler der Drehbrücken werden gewöhnlich aus einer Anzahl von gufseisernen, um einen zentralen Zylinder stehenden und mit diesem verbundenen Röhren gebildet (Ousebrücke bei Goole, Litt. 15 nach § 94). In neuerer Zeit sind eiserne Pfeiler, soviel uns bekannt, nirgends mehr angewendet worden.

Bei der zweigleisigen, 75,6 m langen Ousebrücke der Hull- und Barnsley-Eisenbahn (Litt. 62 nach § 94) besteht der Mittelpfeiler aus acht äufseren gufseisernen Zylindern von 1,8 m Durchmesser in ihren oberen Teilen, welche zur Unterstützung des Laufkranzes dienen, und aus einem zentralen Zylinder von 2,3 m Durchmesser, welcher den Drehzapfen trägt. Die Pfeiler an den Enden der Brücke bestehen aus vier in einer Reihe stehenden, gufseisernen Zylindern, welche miteinander zu je zwei durch Blechquerträger verbunden, durch Vermittelung der letzteren die Brückenträger-Enden stützen.

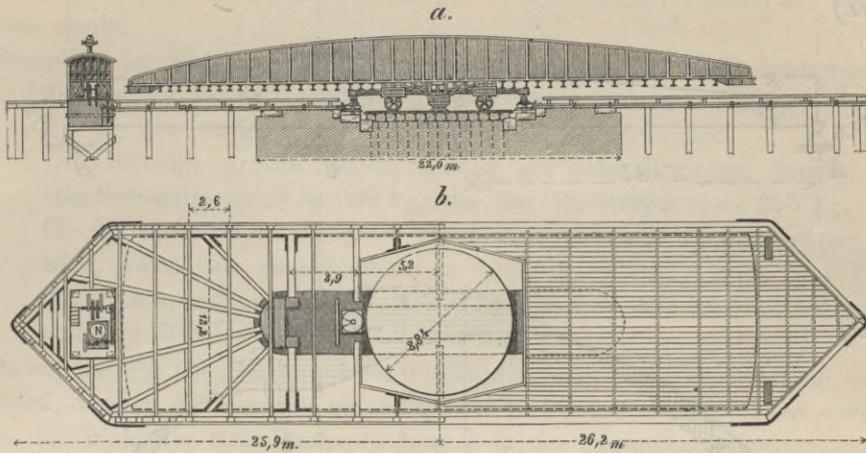
Hölzerne Drehbrückenpfeiler kommen verhältnismäfsig selten vor. Die 82,4 m lange, gleicharmige Drehbrücke in der Berwicks-Bay ist ein Beispiel hierfür. Bei dem Atchafalaya-Flusse traf man den tragfähigen Boden (blauen Mississippi-Ton) erst 27 m unter der Sohle, so dafs die bis zu 41 m langen Jochpfähle aus zwei Baumstämmen hergestellt werden mußten, die durch eiserne Dollen übereinandergestüpft und durch eiserne Backen miteinander verbunden wurden.

Um alle Brückenteile, bei freier Durchfahrt für die Schifffahrt, bequem besichtigen zu können, findet man vor und hinter dem Drehpfeiler parallel zur Flufsachse sich erstreckende Holzgerüste, welche eine Plattform tragen (Textfig. 138 a u. b). Auf dieser befindet sich auch manchmal die zum Drehen der Brücke dienende Maschine N.

Oder es sind nur in der Verlängerung der Pfeilerachse und ohne Verbindung mit letzterem hölzerne Bohlwerke, sogenannte Leitwerke, aufgeführt, die als Schutz gegen Eis und gegen antreibende Schiffe, hauptsächlich aber zur Stützung der ausgedrehten Brücke dienen. Beispiele: Eisenbahndrehbrücke bei Osterröfeld (Textfig. 167 u. 168); die zweigleisige, gleicharmige, 88,62 m lange Eisenbahndrehbrücke der New

Fig. 138. Brücke über den Liffey, Dublin.

M. 1 : 460.



York-Zentral-Hudson-Eisenbahn (Litt. 146 nach § 94). Bei der Bremer Eisenbahnbrücke über die Weser sind bloß oberhalb und unterhalb der Brückenöffnungen Dükdalben angeordnet (Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1869, Taf. 445). Außerdem findet man auch an den Pfeilern und Ufermauern Schiffsringe angebracht.

II. Berechnung der Hauptträger der Drehbrücken.

1. Unveränderlicher Querschnitt. Keine Stützenüberhöhung.

§ 49. Formeln für das anzunehmende Eigengewicht g für die laufende Längeneinheit. Das Eigengewicht ist von dem Konstruktionssystem, der Querschnittsanordnung, der Verkehrslast und der Wahl der zulässigen Inanspruchnahme abhängig und wechselt daher bei ausgeführten Drehbrücken gleicher Spannweite in sehr erheblichem Maße.

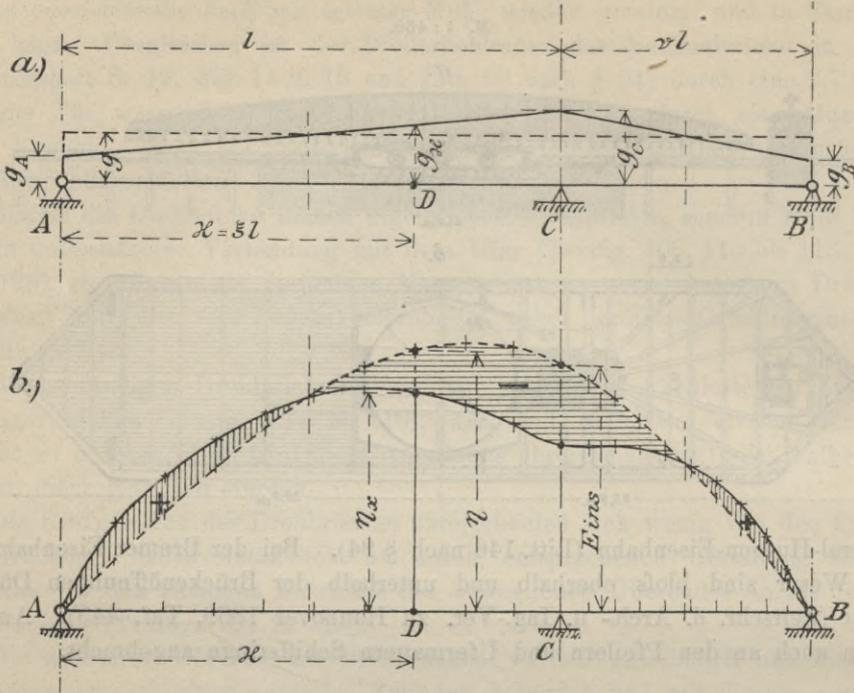
Auf Grund einer größeren Anzahl von ins Einzelne durchgearbeiteten Entwürfen können wir für Eisenbahnbrücken mit zwei gleich großen Feldern l , welche vom Drehzapfen bis zu den Endunterstützungen zu messen sind, folgende, freilich noch ziemlich rohe Formel empfehlen

$$g = \left(25 + \frac{l}{3}\right) l + Q \dots \dots \dots a)$$

Dieselbe gibt das Eigengewicht in kg für das laufende Meter eines Gleises; l ist die Feldlänge in Metern, Q die gesamte Querkonstruktion für das laufende Meter eines Gleises. Die Hauptträger sind als durchlaufende Balken und zwar bei großen Spannweiten als Fachwerke vorausgesetzt.¹⁶⁾ Bei ungleichen Feldern $l_1 > l_2$ wird man die obige Formel benutzen dürfen, indem man $l = l_1$ einsetzt.

¹⁶⁾ Es ist außerordentlich schwer, eine Eigengewichtsformel auf Grund wirklich ausgeführter Drehbrücken aufzustellen, da die in der Litteratur zerstreuten Angaben über derartige Gewichte (am ausführlichsten in der von Price veröffentlichten Tabelle in den Minutes of proceed. of the inst. of civ. eng. LVII, S. 31) fast immer nur das Gesamtgewicht der beweglichen Konstruktion enthalten. Man bleibt daher über die Verteilung des Gewichts, einerseits auf die Hauptträger, andererseits auf die Querkonstruktion im unklaren. Abgesehen hiervon

Fig. 139.



Das so erhaltene g gibt jedoch nur einen Mittelwert an. In der Gegend des Drehpfeilers beträgt das Eigengewicht etwas mehr, nach den Brückenden zu dagegen weniger als das oben berechnete g . Mit Benutzung der Einfluslinien lassen sich jedoch die Stützendrücke und damit die Biegemomente und Querkräfte bei genauer ermitteltem Verteilungsgesetz des Eigengewichtes rasch und genau bestimmen. Z. B. wird in vorstehender Textfig. 139 der Pfeilerstützdruck C für das Belastungsgesetz $g_x = g_A + (g_C - g_A)\xi$ gefunden nach der Gleichung: $C = g \int_0^{l(1+\nu)} \eta_x \cdot dx = g \cdot \text{Fläche } AC'BCA$ (ausgezogen), welche letztere unmittelbar aus der strichlierten Einfluslinie mittels der Beziehung $\eta_x = \eta \frac{g}{g_x}$ gezeichnet werden kann. In Textfig. 139 wurde

$$g_A = g_B = \frac{1}{2} g \quad \text{und} \quad g_C = 1,5 g$$

fehlen auch fast immer die näheren Angaben über die angenommene Größe der Verkehrslast, über die Wahl der zulässigen Inanspruchnahme des Baustoffes u. s. w.

Obige Formel a. dürfte für Drehbrücken, wie solche am häufigsten in Deutschland vorkommen, passende Werte geben. Die großen amerikanischen Drehbrücken, für welche $l = 30$ bis 70 m beträgt, haben Eigengewichte, welche ziemlich gut der Formel

$$g = (25 + 0,2 l) l + 800 \dots \dots \dots a_1.$$

für das lfd. Meter eines Gleises entsprechen. Die holländischen Brücken sind im allgemeinen ziemlich schwer konstruiert und haben etwas größere Eigengewichte, als die Formel a. giebt.

Um für das Eigengewicht von Straßendrehbrücken einigermaßen einen Anhalt zu bekommen, wird man von der Voraussetzung ausgehen, daß das Gewicht der Hauptträger zweier gleich weit gespannten Brücken sich wie die Gesamtlasten, welche von diesen Hauptträgern getragen werden, verhalten. Bezeichnet man daher die Gewichte der Hauptträger, der Querkonstruktion und der Verkehrslast, alles auf das laufende Meter bezogen, bei der Eisenbahnbrücke beziehentlich mit T_e, Q_e, p_e und bei der Straßnbrücke entsprechend mit T_s, Q_s, p_s , so kann man die Proportion aufstellen: $T_s : T_e = (T_s + Q_s + p_s) : (T_e + Q_e + p_e)$, woraus man nach dem Einsetzen von $T_e = (25 + \frac{l}{3}) l$, das unbekannte T_s erhält.

gewählt; obwohl nun die Gesamtbelastung in beiden Belastungsfällen $P = gl(1 + \nu)$ beträgt, wird der Stützdruck für die Belastung g um rund 6% größer als für die veränderliche Belastung g_x , wie der Vergleich der \pm schraffierten Flächen der Textfig. 139 unmittelbar ergibt.

Bezüglich der Ableitung der Eigengewichtsformel a) ist noch besonders hervorzuheben, daß dieselbe unter folgenden Voraussetzungen gefunden wurde:

1. Zu den Hauptträgern wird nur Schweißeisen verwendet.
2. Die zulässige größte Beanspruchung der Schwellenträger beträgt für den Quadratcentimeter $\sigma = 600$ kg, die der Querträger $\sigma = 650$ kg, während für die Hauptträger an jeder Stelle eine zulässige Beanspruchung gewählt wird, welche bei gleichbleibendem Sinne derselben, je nach dem Verhältnis der Grenzspannungen, 700 bis 1050 kg f. d. qcm und bei Wechsel von Druck und Zug 700 bis 400 kg f. d. qcm beträgt.

Da vorerst (in Deutschland) bloß Flußeisen, auch für Drehbrücken, verwendet werden wird, können die hiernach gefundenen Gewichte etwas abgemindert werden nach Maßgabe der Wahl der Grundbeanspruchung k in der Spannungsformel:

$$\sigma = \alpha \left(1 + \frac{1}{2} \frac{P_{\min}}{P_{\max}} \right) = \text{kg/qcm}$$

(s. S. 18 und Handbuch d. Ingenieur-Wissensch. II. Bd., 2. Abt., 3. Aufl., 1901, S. 110).

3. Als Verkehrslast wird die im folgenden Paragraphen näher bezeichnete vorausgesetzt.

§ 50. Anzunehmende Verkehrslast und die von derselben erzeugten größten Querkräfte Q und Biegemomente M . Im vorhergehenden Paragraphen wurde als Verkehrslast ein aus drei am ungünstigsten eingestellten, neben skizzierten Lokomotiven (Textfig. 140 a) und aus einer Reihe beladener Güterwagen (Textfig. 140 b) bestehender Eisenbahnzug vorausgesetzt.

Hierfür waren in der letzten Auflage der „Beweglichen Brücken“ Tabellen berechnet, die diesem Eisenbahnzug (bezüglich der erzeugten $\max Q$ und $\max M$) gleichwertige, über das betreffende Balkenstück gleichförmig verteilte Verkehrslasten p f. d. lfd. m eines Gleises enthielten. Sie zeigten, daß unzulässig große Fehler entstehen, wenn man die durchlaufenden Haupt-

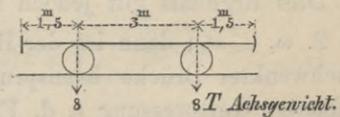
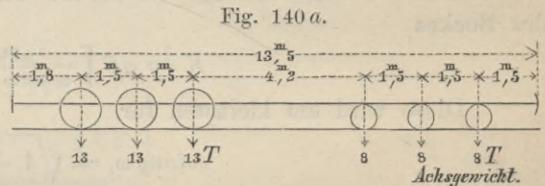


Fig. 140 b.

träger für eine unveränderliche gleichmäßige Belastung rechnet. Weil die z. Z. in Betracht kommenden Verkehrszüge hiervon nach jeder Richtung sehr erheblich abweichen (vergl. Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften II. Bd., 2. Abt. 3. Aufl. 1901, S. 9 und Müller-Breslau, Graphische Statik der Baukonstruktionen I. Bd., 3. Aufl. 1901, S. 550), wird man am zweckmäßigsten die wirklichen Achslasten zu Grunde legen und die größten Querkräfte und Biegemomente mit Hilfe von Einflußlinien (siehe § 12 des Anhangs) bestimmen. Letztere können für ein bestimmtes Verhältnis der Armlängen der Drehbrückenträger ein- für allemal berechnet, bzw. aufgetragen werden und es braucht, wenn dann die Stützweiten endgültig bestimmt sind, bloß der Längenmaßstab für die Verkehrszüge in Übereinstimmung mit dem Längenmaßstab der bereits fertigen Einflußlinien gebracht zu werden.

Die statische Berechnung und Querschnitts-Bemessung der Hauptträger in ihren Einzelheiten richtet sich nach der Stütz- und Lagerungsweise der letzteren. Wie aus den §§ 38 bis 40 zu ersehen ist, sind in dieser Beziehung sehr verschiedene Anordnungen zur Ausführung gekommen.

§ 51. Getrennte Balken über zwei Öffnungen mit Hängebock über dem Mittelpfeiler (Textfig. 105). Das Zugseil AE sei wie bei der Quincy-Brücke am Obergurte AB befestigt. Bezeichnet man den Querschnitt des letzteren mit F , die Trägerhöhe mit h , die Stützweite AB mit l , und bedeuten g die Eigenlast und p die Verkehrslast für die Längeneinheit, so ist der Druck auf die Flächeneinheit des Obergurtes bei ausgeschwenkter Brücke:

$$\sigma = \frac{gl}{2F} \left(\frac{1}{4\nu} + \frac{1}{\tan \omega} \right),$$

wobei $h = \nu l$ gesetzt wird; dagegen bei eingeschwenkter und belasteter Brücke, wobei die Trägenderen auf entsprechend gehobenen Stützen A und D ruhen:

$$\sigma = \frac{(g+p)l}{8F\nu}.$$

Beide Werte werden gleich für

$$\tan \omega_1 = \frac{g}{p} \cdot 4\nu \dots \dots \dots 1.$$

Bezüglich des Winkels ω_2 , der den geringsten Baustoffaufwand erfordert, sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. $\omega_2 > \omega_1$; dann ist der Rauminhalt von ω unabhängig, da das größte Biegemoment bei eingeschwenkter und belasteter Brücke stattfindet. Bezeichnet man die zulässige Beanspruchung der Zugseile AE mit σ_1 , die des Hängebockes (mit Berücksichtigung der Knickfestigkeit) mit σ_2 , ferner die entsprechenden Preise für die Raumeinheit mit p_1 und p_2 , so ist die Summe der Kosten der beiden Zugseile und des Bockes

$$K = gl^2 \left[\frac{p_1}{\sigma_1 \sin \omega \cos \omega} + \frac{p_2}{\sigma_2 \cotang \omega} \right]$$

Diese wird am kleinsten für

$$\cotang \omega_2 = \sqrt{1 + \frac{\sigma_1 p_2}{\sigma_2 p_1}} \dots \dots \dots 2.$$

Dies Ergebnis gilt jedoch nur, so lange $\omega_2 > \omega_1$.

2. $\omega_2 < \omega_1$; dann ist der Rauminhalt des Gurtes, welcher jetzt am stärksten bei ausgeschwenkter Brücke beansprucht wird, von ω abhängig. Bezeichnet man mit σ_3 die zulässige Gurtpressung f. d. Flächeneinheit und mit p_3 den Gurtpreis f. d. Längeneinheit, so betragen die Kosten der Hängesäule, des Bockes und der Obergurte:

$$K = gl^2 \left[\frac{2 p_1}{\sigma_1 \sin 2 \omega} + \frac{p_2}{\sigma_2 \cotang \omega} + \frac{p_3}{\sigma_3} \left(\frac{1}{4 \cdot \nu} + \frac{1}{\tan \omega} \right) \right].$$

Diese Summe wird am kleinsten für

$$\cotang \omega_2 = \sqrt{\frac{\sigma_3}{\sigma_2} \cdot \frac{\sigma_1 p_2 + \sigma_3 p_1}{\sigma_1 p_3 + \sigma_3 p_1}} \dots \dots \dots 2^a.$$

Das hiernach erhaltene ω_2 muß jedoch der Voraussetzung $\omega_2 < \omega_1$ genügen.

Zahlenbeispiel. Es sei $\sigma_1 = \sigma_3 = 700 \text{ kg f. d. qcm}$; $\sigma_2 = 350 \text{ kg f. d. qcm}$; $p_1 = p_3 = 0,3$ Pfennige; $p_2 = 0,2$ Pfennige f. d. ccm ; $\frac{g}{p} = 1$; $\frac{h}{l} = \frac{1}{8}$. Dann ergibt sich aus Gl. 1: $\omega_1 = 27^\circ$, ferner aus Gl. 2: $\omega_2 = 33^\circ$, und endlich nach Gl. 2^a: $\omega_2 = 43^\circ$. Da nun $43^\circ > 30^\circ$ ist, so ist der Wert $\omega_2 = 43^\circ$ unbrauchbar. Dagegen ist der Wert $\omega_2 = 33^\circ$ brauchbar, weil $33^\circ > 27^\circ$ ist. Der günstigste Wert des Zugseilwinkels ist also $\omega = 33^\circ$.

§ 52. Träger über eine Öffnung mit einseitig überhängenden Enden kommen bei zweiteiligen Drehbrücken vor (vergl. Textfig. 108). An der Zusammenstoßstelle C bringt man zwar Riegel an, doch wird man gut tun, auf einen Zusammenhang der Träger hier nicht zu rechnen, sondern die erforderliche Standsicherheit der Brücke unter der Verkehrslast durch Gegengewichte G oder Maueranschläge d erzeugen (vergl. auch Textfig. 208 und Fortschrittsheft S. 41, Fig. 55 und S. 47, Fig. 59).

Hierbei wird man zu unterscheiden haben, ob der Drehzapfen D (Textfig. 141 *a*) auch der geschlossenen Brücke noch als Stützpunkt dient oder ob der Zapfen bei eingeschwenkter Brücke entlastet wird, indem man z. B. die hinteren Trägerenden bei A etwas anhebt, wobei die Träger sich in die Lager bei B einlegen. In jedem Falle wird man bei geöffneter Brücke eines Gegengewichtes

$$G \geq \frac{1}{2} g c \cdot \frac{1 - \gamma^2}{\gamma} \dots 3.$$

bedürfen, wobei $c_1 = \gamma c$ und $l_1 = \nu l$.

Ruhen bei geschlossener Brücke die Träger in A und B auf, so ist, wenn die Verkehrslast p den Arm l bedeckt, ein Gegengewicht

$$G \geq \frac{l}{2\nu} [g(1 - \nu^2) + p] \dots 4.$$

erforderlich. Selbstverständlich ist von Gl. 3 und 4 der grössere Wert maßgebend. Die Querkräfte Q und Biegemomente M berechnen sich mit $x = \xi l$, $x_1 = \xi_1 l_1 = \xi_1 \nu l$ wie folgt:

Für den Arm DC , bei Brücke „offen“:

$$\left. \begin{aligned} \min(+Q) &= +g l \xi \\ \min(-M) &= -\frac{1}{2} g l^2 \xi^2 \end{aligned} \right\} \dots 5.$$

Für den Arm BC , bei Brücke „geschlossen“:

$$\left. \begin{aligned} \max(+Q) &= (g + p) l \xi \\ \max(-M) &= -\frac{1}{2} (g + p) l^2 \xi^2 \end{aligned} \right\} \dots 6.$$

Für den Arm DA , bei Brücke „offen“:

$$\left. \begin{aligned} Q &= -G - g l \cdot \nu \xi_1 \\ M &= -G \nu l \cdot \xi_1 - \frac{g l^2}{2} \nu^2 \xi_1^2 \end{aligned} \right\} \dots 7.$$

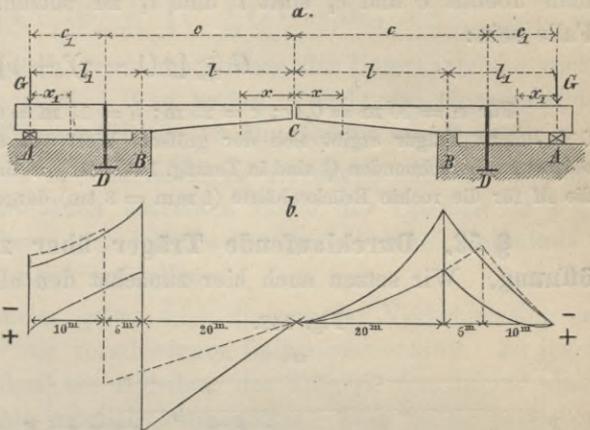
Für den Arm BA , bei Brücke „geschlossen“, je nachdem das Balkenstück zwischen dem Querschnitte und B , oder die ganze übrige Länge des Trägers AC belastet wird:

$$\left. \begin{aligned} \max(+Q) &= \frac{l}{2} \left[g \left(\frac{\nu^2 - 1}{\nu} - 2\nu \xi_1 \right) + p \nu (1 - \xi_1)^2 \right] \\ \max(-Q) &= \frac{l}{2\nu} [g(\nu^2 - 2\nu^2 \xi_1 - 1) - p(1 + \nu^2 \xi_1^2)] \end{aligned} \right\} \dots 8.$$

und ferner, je nachdem nur l_1 oder nur l mit Verkehrslast bedeckt ist:

$$\left. \begin{aligned} \max(+M) &= \frac{1}{2} [(g + p)\nu^2(1 - \xi_1) \xi_1 - g \xi_1] l^2 \\ \max(-M) &= -\frac{1}{2} [(g + p) \xi_1 - g\nu^2(1 - \xi_1) \xi_1] l^2 \end{aligned} \right\} \dots 9.$$

Fig. 141.



Die größten Stützendrücke endlich sind:

$$\left. \begin{aligned} \max A &= G - \left[\frac{(1-\gamma)^2}{\gamma} g - p\gamma \right] \frac{l}{2} \\ \max B &= (g+p) \frac{(1+\gamma)^2}{\gamma} \cdot \frac{l}{2} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 10.$$

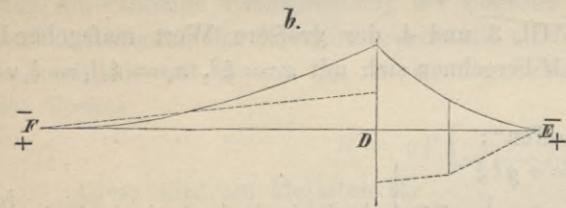
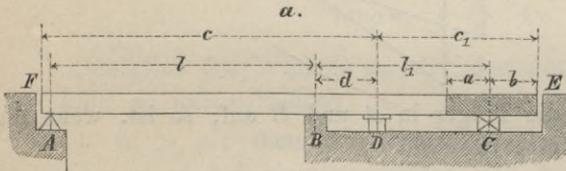
Ruht bei geschlossener Brücke der Träger nicht in *B*, sondern auf dem Zapfen *D* auf, so behalten Gl. 5 bis 10 ihre Gültigkeit für die Arme *DC* und *DA*, nur hat man überall *c* und *c*₁ statt *l* und *l*₁ zu setzen. Das Gegengewicht muß in diesem Falle sein:

$$G \geq [g(1-\gamma)^2 + p] \frac{c}{2\gamma} \dots \dots \dots 11.$$

Für *c*₁ = 10 m = 0,4*c*; *c* = 25 m; *l*₁ = 15 m = 0,75*l*; *l* = 20 m; *g* = 1000 kg; *p* = 1200 kg f. d. lfd. m Träger ergibt sich der größere Wert von *G* nach Gl. 3 zu *G* = 26250 kg. Die nach obigem zu berechnenden *Q* sind in Textfig. 141*b* für die linke Brückenhälfte (Maßstab 1 mm = 3 t) und die *M* für die rechte Brückenhälfte (1 mm = 3 tm) dargestellt.

§ 53. Durchlaufende Träger über zwei Felder mit einer Durchlaßöffnung. Wir setzen auch hier zunächst den allgemeinen Fall voraus, daß der Drehzapfen *D* (Textfig. 142*a*) nach Schluß der Brücke, durch Kippen der letzteren (oder auch durch Senken des Zapfens) entlastet wird und an seiner Statt das Lager *B* die Stützung übernimmt. Das hintere Ende *C* bleibt auch bei geöffneter Brücke vom Mauerwerk unterstützt.

Fig. 142.



Textfig. 142*a*) nach Schluß der Brücke, durch Kippen der letzteren (oder auch durch Senken des Zapfens) entlastet wird und an seiner Statt das Lager *B* die Stützung übernimmt. Das hintere Ende *C* bleibt auch bei geöffneter Brücke vom Mauerwerk unterstützt.

Das für das Gleichgewicht der ausgeschwenkten Brücke erforderliche Gegengewicht *k* für die laufende Längeneinheit der Strecke $(a + b) = (\alpha + \beta) c$ berechnet sich aus der Gleichung:

$$\frac{g}{2} (1 - \gamma^2) \geq k (\alpha + \beta) \left[\gamma - \frac{1}{2} (\alpha + \beta) \right] \dots \dots \dots 12.$$

während die *Q* und *M* sich wie folgt ergeben: Für den Hinterarm *DE*, wenn *x*₁ von *E* aus gemessen wird:

$$\text{falls } x_1 < (a + b): \left\{ \begin{aligned} Q &= (g + k) c \gamma \xi_1 \\ M &= -\frac{1}{2} (g + k) (c \gamma)^2 \xi_1^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 13.$$

$$\text{falls } x_1 > (a + b): \left\{ \begin{aligned} Q &= [g \gamma \xi_1 + k (\alpha + \beta)] c \\ M &= -(g \gamma^2 \xi_1^2 + k (\alpha + \beta) [2 \gamma \xi_1 - (\alpha + \beta)]) \frac{c^2}{2} \end{aligned} \right\} \dots \dots 14.$$

In Textfig. 142*b* sind die *Q* gestrichelt und die *M* ausgezogen angegeben. Für den Vorderarm *DA* ist, wenn *x* von *A* aus gemessen wird:

$$\left. \begin{aligned} Q &= -p l \cdot \xi \\ M &= -\frac{1}{2} p l^2 \cdot \xi^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 15.$$

Bei geschlossener Brücke hat man es mit einem durchlaufenden Balken *ABC* mit überhängendem Ende *CE* zu tun (*AF* kann wegen seiner Kürze vernachlässigt werden).

Durch die Wirkung des Eigengewichtes g und des Gegengewichtes k entstehen nach den Formeln 26 bis 28 und 31 bis 33 des Anhangs, wenn noch $a = \alpha' l$ und $b = \beta' l$ gesetzt wird, die Stützendrücke:

$$A = \frac{1}{8} \left[\frac{k}{(1+\nu)\nu} [2\nu^2\beta'^2 - \alpha'^2(2\nu^2 - \alpha'^2)] + g[3 + \nu(1 - \nu)] \right] l + \frac{Y}{2(1+\nu)l^2} \quad \dots \quad 16.$$

$$B = \frac{k}{8\nu^2} [\alpha'^2(4\nu + 2\nu^2 - \alpha'^2) - \beta'^2 \cdot 2\nu(2 + \nu)] l + \frac{g}{8\nu} (1 + 4\nu + 4\nu^2 + \nu^3) l - \frac{Y}{2\nu l^2} \quad \dots \quad 17.$$

$$C = k\alpha' \left[1 - \frac{\alpha'(6\nu^2 + 4\nu - \alpha'^2)}{8(1+\nu)\nu^2} \right] l + \frac{1}{4} p \beta' \left[4 + \frac{\beta'(2+3\nu)}{(l+\nu)\nu} \right] l - \frac{g}{8\nu} [1 - \nu - 3\nu^2] l + \frac{Y}{2\nu(1+\nu)l^2} \quad \dots \quad 18.$$

Bei gewöhnlichen Stützhöhen (d. h. wenn die Stützen der Unterkante des nicht durchgebogenen Trägers entsprechen) ist $Y = 0$ zu setzen. Wirkt das Gegengewicht als Einzellast in C , so fallen in den Formeln 16 bis 18 die Glieder mit k weg.

Die hiernach entstehenden Q und M sind leicht zu berechnen oder aus der mit „Einfluß des Eigengewichtes“ überschriebenen lotrechten Reihe der Tabellen im § 11 des Anhangs zu entnehmen, bezw. lassen sich letztere für ein beliebiges Verhältnis ν nach den daselbst gegebenen Formeln rasch aufstellen.

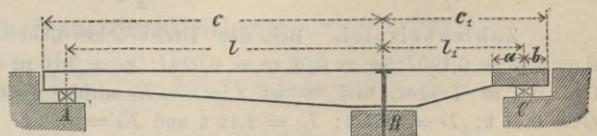
Dieselben Tabellen, bezw. Formeln, geben auch die von der Verkehrslast p erzeugten $\max(\pm Q)$ und $\max(\pm M)$ für die verschiedenen Balkenquerschnitte. Zu jenen Tabellen ist zu bemerken, daß dieselben ein Abheben des Trägers von irgend einer seiner Stützen bei keiner Belastung als möglich voraussetzen. Dies ist zu erreichen entweder durch ein genügend großes Gegengewicht in C , oder durch Festriegeln der Trägerenden (Point Street-Brücke, s. § 39 unter 3.) oder durch entsprechendes Heben der Trägerenden beim Schließen der Brücke (vergl. § 39 unter 4.). Ist durch keines dieser Mittel gegen das Aufkippen der Trägerenden gesorgt (wie dies z. B. bei kleineren amerikanischen Brücken der Fall ist), so wird der Träger, je nach der Belastung, bald als ein durchlaufender Balken auf drei Stützen, bald als ein Balken auf zwei Stützen mit überhängendem Ende wirken und demgemäß zu berechnen sein. Die hierzu erforderlichen Formeln findet man in § 5 bis 9 des Anhangs und in § 52 dieses Abschnittes.

In obigem ist bis jetzt vorausgesetzt worden, daß der Träger bei eingeschwenkter Brücke seinen mittleren Stützpunkt nicht mehr in D , sondern in B habe. Es ist aber leicht einzusehen, daß für den Fall, wenn der Drehzapfen D auch bei geschlossener Brücke die Stützung besorgt, man die entsprechenden Formeln aus den obigen erhält, indem man $d = 0$ setzt, d. h. l und l_1 von D statt von B mißt.

§ 54. Durchlaufende Träger mit zwei Durchlaßöffnungen und Stützung auf dem Mittelzapfen (Textfig. 143). Hier ist meist $l = l_1$. Der Drehzapfen dient

auch bei geschlossener Brücke als Stützpunkt. Etwaige sonstige Räder oder Rollen, die auf dem Mittelpfeiler angebracht sind, dienen nur zur Sicherung gegen seitliches Schwanken beim Drehen der Brücke. Zur Berechnung der Träger sind die im vorigen Paragraphen gegebenen Formeln, sowie die Tabellen im § 11 des Anhangs zu benutzen.

Fig. 143.



§ 55. Träger der Drehbrücken nach Schwedler (Textfig. 87, S. 92). Für geschlossene Brücke sind die Träger als durchlaufende Balken auf drei Stützpunkten

A, B, C mit Hilfe der Tabellen im § 11 des Anhangs zu berechnen. Von dem Einflusse des bei dieser Konstruktion ohnehin verhältnismäßig kleinen Gegengewichtes *G* auf die *Q* und *M* kann abgesehen werden, da das Gegengewicht über oder sehr nahe dem Stützpunkte *A* wirkt.

Bei geöffneter Brücke ruhen die Träger in der Mitte auf dem Drehzapfen *D* und außerdem auf dem Stützrade *E* auf. Der Druck auf das letztere wird willkürlich, und zwar gewöhnlich zu 5000 kg angenommen, wodurch das Gegengewicht sich für einen Träger, wenn noch $c = \gamma l$; $f = \varphi l$; $f_1 = \varphi_1 l$; $d = \delta l$; $e_1 = \varepsilon_1 l$; $e_2 = \varepsilon_2 l$; $a = \alpha l$ und $h = \eta l$ gesetzt wird, zu

$$G = 2500 \frac{\delta}{\varphi} \dots \dots \dots 19.$$

bestimmt. Der Druck auf den Zapfen wird hiernach für einen Träger:

$$D = 2gc + G = 2500 \dots \dots \dots 20.$$

Der Stützraddruck *E* verteilt sich auf die beiden Querträger:

$$E_1 = 2500 \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2}, \quad E_2 = 2500 \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_1 + \varepsilon_2} \dots \dots \dots 21.$$

Hiernach ist es leicht, für die geöffnete Brücke die Querkräfte und Biegemomente zu berechnen. Es ist für den linken Arm:

für $x = 0$ bis $x = c - f = l(\gamma - \varphi)$:

$$\left. \begin{aligned} Q &= -gl \cdot \xi \\ M &= -\frac{1}{2} gl^2 \cdot \xi^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 22.$$

für $x = c - f = l(\gamma - \varphi)$ bis $x = h = \eta l$:

$$\left. \begin{aligned} Q &= -G - gl \cdot \xi \\ M &= -G(\xi - \gamma + \varphi)l - \frac{1}{2} gl^2 \cdot \xi^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 23.$$

für $x = h = \eta l$ bis $x = h + e_1 + e_2 = l(\eta + \varepsilon_1 + \varepsilon_2)$:

$$\left. \begin{aligned} Q &= -G - gl \cdot \xi + E_1 \\ M &= -G(\xi - \gamma + \varphi)l - \frac{1}{2} gl^2 \xi^2 + E_1(\xi - \eta)l \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 24.$$

für $x = h + e_1 + e_2 = (\eta + \varepsilon_1 + \varepsilon_2)l$ bis $x = c = \gamma l$:

$$\left. \begin{aligned} Q &= -G - gl \cdot \xi + E_1 + E_2 \\ M &= -G(\xi - \gamma + \varphi)l - \frac{1}{2} gl^2 \cdot \xi^2 + E_1(\xi - \eta)l + E_2(\xi - \eta - \varepsilon_1 - \varepsilon_2)l \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 25.$$

und für den rechten Arm: für $x_1 = 0$ bis $x_1 = c = \gamma l$:

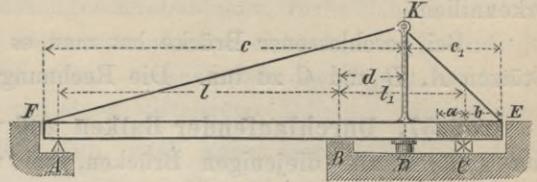
$$\left. \begin{aligned} Q &= -gl \cdot \xi_1 = -gl \cdot \nu \xi \\ M &= -\frac{1}{2} gl^2 \cdot \xi_1^2 = -\frac{1}{2} gl^2 \nu^2 \xi^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 26.$$

Zahlenbeispiel. Bei der Drehbrücke über die Elbe bei Hohnstorf ist $c = 19,3 \text{ m}$; $d = 3,66 = 0,190l$; $e_1 = 0,56 \text{ m} = 0,029l$; $e_2 = 3,10 \text{ m} = 0,161l$; $h = 15,14 = 0,782l$; $g = 0,130 \text{ t}$ f. d. lfd. m Träger, und es ist $f = c = l$, mithin $\varphi = \gamma = 1$ angenommen. Hiernach ergibt sich: $G = 0,47 \text{ t}$; $D = 48,1 \text{ t}$; $E_1 = 2,12 \text{ t}$ und $E_2 = 0,38 \text{ t}$. Die nach Gl. 22 bis 26 berechneten *Q* und *M* sind in Textfig. 87c (S. 92) und zwar die ersteren durch die ausgezogene und die letzteren durch die gestrichelte Kurve für die Maßstäbe $1 \text{ mm} = 2 \text{ t}$ beziehentlich $1 \text{ mm} = 2 \text{ tm}$ dargestellt.

§ 56. Armierte durchlaufende Träger über zwei Felder (Textfig. 144).
Beispiele: Drehbrücke zu Birkenhead, Wensum-Brücke der Norwich Eisenbahn. Bei geöffneter Brücke hat der durchlaufende Balken die Stützpunkte *F, D* und *E* und es

wirken auf denselben 1. die Konstruktionslast g auf die Längeneinheit, 2. das Gegengewicht k auf die Längeneinheit der Strecke $(a + b)$; dieses k wird gewöhnlich größer als das für das Gleichgewicht der Brücke erforderliche und nach Gl. 12 zu berechnende k sein. Infolge dessen wirkt 3. ein in C von unten nach oben gerichteter Druck, wenn $c_1 = \gamma c$; $l_1 = \nu l$; $d = \delta l$; $a = \alpha c$ und $b = \beta c$ gesetzt wird:

Fig. 144.



$$C = \frac{1}{(\nu - \delta)} \left[\frac{1}{2} g (\gamma^2 - 1) + k(\alpha + \beta) \left[\gamma - \frac{1}{2} (\alpha + \beta) \right] \right] \frac{c^2}{l} \dots 27.$$

4. endlich, infolge der Spannung in den Seilen FK und EK , ein parallel zur Balkenachse wirkender Druck. Derselbe verteilt sich, je nach der Lage der Aufhängungspunkte F und E gegen die Balkenachse, nur über den Obergurt (wie in Textfig. 144) oder gleichmäßig über den ganzen Querschnitt (wenn F und E in der Balkenachse liegen).

Zur Berechnung der Stützendrücke F , D und E dienen die Formeln in den §§ 5 und 6 des Anhangs, indem man dort $l_1 = c$; $b = 0$; $a = a + b$; $q_1 = q_2 = g$ und Y nach Gl. 14 des Anhangs einsetzt. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß die in der letzteren Formel (14) vorkommenden Stützhöhen-Unterschiede $s_2 - s_1$ und $s_2 - s_3$ die Senkungen der Punkte F und E unter die ursprüngliche Wagerechte bedeuten. Diese Senkungen sind aber selbst von den Größen der Stützendrücke in F und in E abhängig, da die Abwärtsbewegung dieser Punkte eine Folge der Verlängerung der Spannbänder FK und EK , sowie der Verkürzung des Balkens FE ist. Sind die Querschnitte der Spannbänder und des Balkens bekannt, so lassen sich leicht jene Längenänderungen als Funktionen der Stützendrücke F und E , beziehentlich ihrer entsprechenden Komponenten darstellen.

Die Beanspruchung des Balkens erfolgt nach obigem sowohl auf Biegung als auch auf Achsialdruck; es muß derselbe daher für diese zusammengesetzte Beanspruchung berechnet werden.

Viel zweckmäßiger ist es, ohne Anwendung der eben bezeichneten Formeln die Stützkkräfte S_F und S_E unmittelbar mittels des Satzes von den Kleinstwerten der Formänderungsarbeit wie folgt zu bestimmen: Es bezeichne X die Horizontalkomponente der beiden Zugstäbe FK und KE , bezw. die Längskraft im Balken FE , α und β die Neigungswinkel der Zugstäbe gegen die Wagerechte, F_1 und F_2 die Querschnittsfläche der beiden Zugstäbe und F die des durchlaufenden Balkens EF , so werden die Auflagerdrücke

$$S_F = X \sin \alpha \quad \text{und} \quad S_E = X \sin \beta \dots 28.$$

und mit $c_1 = \gamma c$ findet man schließlich x aus der Gleichung

$$\frac{1}{EJ} \int M \frac{dM}{dX} \cdot dx + \frac{1}{EF} \int N \frac{dN}{dX} \cdot dx + \Sigma \frac{Ss}{EF} \cdot \frac{dS}{dX} = 0$$

$$X = g c \left\{ \frac{\sin \alpha}{\frac{8}{3} \sin^2 \alpha + \frac{8J_1}{c^2} \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_1 \cos^3 \alpha} \right)} + \frac{\sin \beta}{\frac{8}{3} \cdot \frac{\sin^2 \beta}{\gamma} + \frac{8J_2}{\gamma^3 c^2} \left(\frac{1}{F} + \frac{1}{F_2 \cos^3 \beta} \right)} \right\} \dots 29.$$

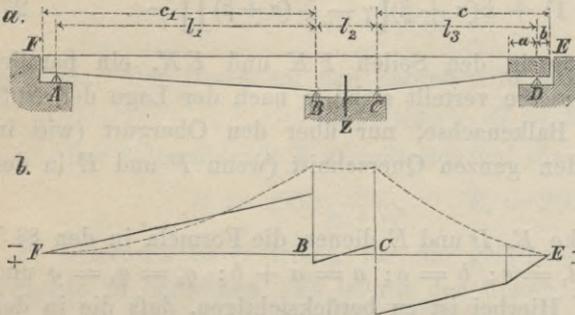
Sowohl für $\alpha = \beta = 90$ als auch für $F_1 = F_2 = 0$ (Zugbänder ausgeschaltet) wird $X = \frac{gc}{\infty} = 0$, d. h. es wirkt keine Längskraft im durchlaufenden Träger EF .

Hierin bedeutet schliesslich noch J_1 bzw. J_2 je ein mittleres Trägheitsmoment in den Balkenarmen FD bzw. DE . Aus der Gl. 29 ist unmittelbar die Rückwirkung der Querschnittsbemessung der Einzelteile auf die Grösse der Stützkräfte S_P und S_g erkenntlich.

Bei geschlossener Brücke hat man es mit einem durchlaufenden Balken auf den Stützen A, B und C zu tun. Die Rechnung ist genau wie in § 53 zu führen.

§ 57. Durchlaufender Balken auf vier festen Stützen (Textfig. 145). Hierher gehören alle diejenigen Brücken, bei welchen der Drehzapfen nur zur Führung dient und die Stützung durch Vermittelung eines ringförmigen Trägers auf einem Rollenkranze geschieht.

Fig. 145.



Bei ausgeschwenkter Brücke ruht der Träger nur in B und C auf und es ist, wenn man die Trägerlänge FE mit s bezeichnet und $l_1 = \nu_1 s$; $l_2 = \nu_2 s$; $l_3 = \nu_3 s$; $c_1 = \gamma_1 s$; $c = \gamma s$; $a = \alpha s$; $b = \beta s$; $x_1 = \xi_1 s$; $x_2 = \xi_2 s$ und $x_3 = \xi_3 s$ setzt:

$$B = C = \frac{1}{2} [(\gamma_1 + \nu_2 + \gamma) g + (\alpha + \beta) k] s = g \left(\gamma_1 + \frac{\nu_2}{2} \right) s \dots \dots \dots 30.$$

wobei $k = g \frac{\gamma_1 - \gamma}{\alpha + \beta}$ ist.

Ferner erhält man für einen Querschnitt zwischen F und B im Abstände x_1 von F :

$$\left. \begin{aligned} Q &= -g s \cdot \xi_1 \\ M &= -\frac{1}{2} g s^2 \cdot \xi_1^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 31.$$

zwischen B und C im Abstände x_2 von B :

$$\left. \begin{aligned} Q &= -g s (\gamma_1 + \xi_2) + B \\ M &= -\frac{1}{2} g s^2 (\gamma_1 + \xi_2)^2 + B \cdot s \xi_2^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 32.$$

zwischen C und E im Abstände x_3 von E , so lange $x_3 < (a + b)$:

$$\left. \begin{aligned} Q &= (g + k) s \cdot \xi_3 \\ M &= -\frac{1}{2} (g + k) s^2 \cdot \xi_3^2 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 33.$$

und so lange $x_3 > (a + b)$:

$$\left. \begin{aligned} Q &= g s \xi_3 + k s (\alpha + \beta) \\ M &= -\frac{1}{2} g s^2 \xi_3^2 - k s^2 (\alpha + \beta) \left(\xi_3 - \frac{\alpha + \beta}{2} \right) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 34.$$

Die entsprechenden graphischen Darstellungen (ausgezogen für Q , gestrichelt für M) siehe Textfig. 145.

Bei eingeschwenkter Brücke bilden die Träger durchlaufende Balken mit drei Feldern l_1, l_2 und l_3 . Der zugemessene Raum verbietet es, in dieser Abhandlung auf die allgemeine Untersuchung derartiger Träger einzugehen.¹⁷⁾ Am zweckmässigsten wird es sein, nach § 12 des Anhangs die Einflusslinien aufzuzeichnen, die natürlich bei Über-

¹⁷⁾ Siehe näheres hierüber Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften II. Bd. 2. Abteilung (3. Aufl. 1901), VIII. Kapitel, und Fortschrittsheft: Anhang.

tragung der Lasten durch Zwischenträger auf die Knotenpunkte in Polygone übergehen. Für gleichmäßig verteilte Belastung hat man dann bloß Flächenbestimmungen vorzunehmen, die rasch auch mittels eines Planimeters ermittelt werden können.

Am häufigsten wird man mit gleicharmigen Drehbrücken, für welche $l_1 = l_3 = l$ und $l_2 = \mu l$ ist, zu tun haben. Für diese Fälle vereinfachen sich, da $\nu = 1$ wird, die Gleichungen des § 15 sehr erheblich; sie setzen voraus, daß der Träger bei keiner Belastung sich von einer Endstütze, noch von einer Mittelstütze abhebt. Ersteres wird nur höchst selten (bei großem $\frac{p}{g}$) möglich sein, auch kann man demselben durch Riegel, Stützenüberhöhung und dergl. entgegenwirken. Ein Abheben von der Mittelstütze, z. B. C , findet statt, wenn bei Belastung nur von l_1 mit Verkehr der nach § 16 des Anhangs zu berechnende Wert von $C = A_3$ negativ wird. In allen solchen Belastungsfällen sind die entsprechenden Werte wie für einen durchlaufenden Balken über zwei Öffnungen l_1 und $(l_2 + l_3)$, nach den Formeln 84 bis 87 beziehentlich 90 bis 93, welche zunächst die Stützendrücke geben, zu berechnen. Doch ist dann stets ein durchlaufender Träger mit Querkraft-Nullfeld vorzuziehen (vergl. § 32 des Anhangs).

§ 58. Durchlaufender Träger auf vier Stützen, von denen die beiden mittleren ausbalanciert sind (Textfig. 146). Die Stützung erfolgt nicht auf den Rollen, sondern auf dem Drehzapfen, an welchen der ringförmige Träger (die Trommel) angehängt ist. Die Rollen dienen nur zur Sicherung gegen Schwanken beim Drehen.

Bei jeder Belastung werden hier die Stützendrücke B und C einander gleich sein, da das Hängewerk BJC sonst nicht im Gleichgewichte sein kann. Die Stützungsverhältnisse des Trägers sind also dieselben wie die des schematisch angedeuteten Balkens (Textfig. 146 *b*). BC ist als steifer Zwischenträger zu betrachten und demgemäß zu konstruieren.

Bei geöffneter Brücke ruht der Balken nur in B und C auf. Zur Berechnung der Q und M dienen Gl. 31 u. 32 des vorigen Paragraphen.

Bei geschlossener Brücke findet man die Q und M nach V. des Anhangs.

Ein Abheben von einer Mittelstütze kann bei dieser Konstruktion nicht erfolgen, wohl aber von einer Endstütze, z. B. D , wenn die Verkehrslast das Stück AZ überdeckt. Es wird dies eintreten, wenn der nach § 24 des Anhangs zu berechnende Stützendruck:

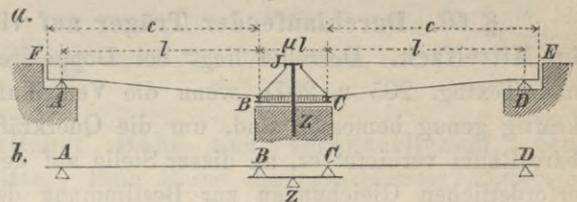
$$D = \frac{1}{2} gl \left[1 - \frac{(2 + \mu)(1 + \mu^2)}{2(3\mu^2 + 8\mu + 4)} \right] - pl \frac{2 + \mu(\mu^2 + 5\mu^2 - 4\mu - 3)}{8(2 + 3\mu)(2 + \mu)} \quad \dots \quad 35.$$

negativ ausfällt.

In allen solchen Fällen hat man es mit einem Balken auf drei Stützen A , B und C zu tun, dessen Ende CE frei überhängt. Die Stützendrücke B und C bleiben auch jetzt noch einander gleich, so daß die Drücke A und $B = C$ leicht aus den Gleichgewichtsbedingungen zu bestimmen sind. Wir gehen jedoch hierauf nicht näher ein, weil dieses Abheben unzulässig und daher durch konstruktive Maßnahmen hintangehalten werden muß (vergl. Themsebrücke in New London, Litt. 85 nach § 94).

§ 59. Durchlaufender Träger auf vier Stützen mit Querkraft-Nullfeld als Mittelöffnung. Diese Anordnung findet man häufig bei großen amerikanischen

Fig. 146.



gleicharmigen Drehbrücken mit Rollenkranzauflagerung über Pfeiler (Textfig. 103). Bezeichnet man die Stützweiten der Außenöffnungen AC und DB mit l , die Stützweite des Querkraft-Nullfeldes BC mit $l_1 = \mu l$, so erhält man nach Gl. 37 (S. 116) des Fortschrittsheftes für die Auflagerwiderstände A und B an den Widerlagern, bzw. C und D über Drehpfeiler

$$\left. \begin{aligned} A &= P \frac{1}{4 + 6\mu} [4 + 6\mu - (5 + 6\mu)\beta + \beta^3] \\ C &= P - A \\ -D &= +B = P \frac{1}{4 + 6\mu} (\beta - \beta^3) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 36.$$

wenn $p = \beta l$ den Abstand der wandernden Last P von dem linken Endauflager A bezeichnet. Aus den nach obiger Gleichung gefundenen Einflußlinien der Auflagerdrücke lassen sich jene der Querkräfte und Biegemomente rasch finden.

Beispiel: Für eine gleicharmige 94,5 m lange Drehbrücke, deren jede Außenöffnung $l = 45$ m und deren Mittelöffnung $\mu l = 4,50$ m, mithin $\mu = 0,1$ ist, findet man für Laststellung in Mitte der linken Außenöffnung AC , da hierfür $\beta = 0,5$ wird: $A = 0,418 P$; $C = 0,582 P$ und $D = -B = -0,082 P$. Wäre das Mittelfach CD kein Querkraft-Nullfeld, so würde man nach § 15: $A = 0,329$; $C = +2,457$; $D = -1,794 P$ und $B = +0,008 P$ gefunden haben.

Der Vergleich dieser Endergebnisse lehrt, daß die Anordnung eines Querkraft-Nullfeldes über dem Pfeiler das beste Mittel ist die durch Verkehrslast erzeugten Pfeilerstützendrücke auf das Kleinstmafs zu bringen (wichtig für Brücken mit Rollenkranzauflagerung).

§ 60. Durchlaufender Träger auf vier Stützen mit Momenten-Nullpunkt im Mittelfach. Derselbe liegt bei Doppeldrehbrücken vor (vergl. Taf. III, Fig. 15 und Textfig. 205 u. 207), wenn die Verschlussriegel (Textfig. 207) in Brückenmitte kräftig genug bemessen sind, um die Querkräfte übertragen zu können. Der verfügbare Raum verbietet es, an dieser Stelle auf deren Berechnung näher einzugehen. Alle erforderlichen Gleichungen zur Bestimmung der Einflußlinien lassen sich rasch und einheitlich aus der Gl. 38 der S. 116 des Fortschrittsheftes ableiten.

2. Einfluß der Querschnitts-Veränderlichkeit.

§ 61. Träger mit unveränderlichem Querschnitte, aber veränderlicher Höhe. Die in den §§ 50 bis 58 benutzten Formeln gelten streng genommen nur für einen Balken, dessen Querschnitte ein unveränderliches J beibehalten. In dem Folgenden soll der Einfluß eines veränderlichen J bloß für Balken über zwei gleich große Öffnungen l untersucht werden, da diese für Drehbrücken die wichtigsten sind.

Unter der Annahme, es könne $J = F \frac{h^2}{2}$ gesetzt werden, wobei F die Querschnittsfläche und h die Trägerhöhe, hatte schon Baensch (Zeitschr. f. Bauw. 1857, S. 302) Formeln für die Auflagerdrücke entwickelt (siehe auch Winkler's Theorie der Brücken, äußere Kräfte der Balkenträger, 3. Aufl., S. 224). Die gleiche Aufgabe hat Michaelis (Verhandelingen van het koninkl. Inst. van Ing. 1867—1868, S. 132) unter Zugrundelegung parabolischer Gurtformen behandelt. Die Ergebnisse wären jedoch nur verwendbar, wenn die Gurte mit nahezu unverändertem Querschnitt ausgeführt würden.

§ 62. Träger mit gleichbleibender Höhe, aber mit veränderlichem, den max M proportionalen Gurtquerschnitte. Hiermit hatte sich Fränkel eingehend befafst und war auf Grund einer Reihe durchgerechneter gleicharmiger Parallelblech-

träger für zweigleisige Eisenbahnen zu folgenden Hauptergebnissen gelangt: 1. Bei Armlängen $l = 10$ bis 25 m können bei unveränderten Höhenlagen der drei Stützen die Auflagerdrücke mit verschwindend kleinem Fehler mit unverändertem J berechnet werden. Wird dagegen 2. die elastische Durchbiegung der ausgedrehten Brücke nach dem Eindrehen nicht weggenommen, so wächst der Einfluss der Querschnittsveränderlichkeit mit der Spannweite der Brücke. Betrachtet man 3. schliesslich noch den Fall, dass die Trägerenden nach dem Eindrehen so hoch gehoben werden, dass das grösste negative Biegemoment über der Mittelstütze bei vollbelasteter Brücke wesentlich kleiner als bei ausgedrehter Brücke bleibt (das Verhältnis sei $\leq 1: \left[1 + \frac{g}{g+p}\right]$), so werden die unter Voraussetzung eines unveränderten J berechneten Endstützendrücke wiederum zu groß herauskommen. Hierdurch fallen auch die $\max(+M)$ innerhalb der Öffnungen zu groß, dagegen die berechneten $(-M)$ über der Mittelstütze zu klein aus. Da nun aber zur Querschnittsbemessung des Trägers das grössere, bei ausgeschwenkter Brücke über der Mittelstütze entstehende $\max(-M)$ maßgebend bleibt, so werden die für unverändertes J berechneten Träger in den Gurten nirgends zu schwach, sondern nur stellenweise zu stark sein.

Ganz dasselbe gilt auch bezüglich der Querkräfte, wenn das $\max(-Q)$ über der Mittelstütze bei ausgedrehter Brücke wesentlich grösser als bei vollbelasteter geschlossener Brücke ist. So lange letzteres jedoch nicht der Fall ist, muss man der Sicherheit halber die negativen Querkräfte um etwa $\left(20 \frac{g}{g+p}\right)$ Prozent grösser annehmen, als die Berechnung unter Annahme eines unveränderten J ergibt (vergl. § 61 bis 75).

§ 63. Träger mit veränderlicher Höhe und veränderlichem, den $\max M$ angepassten Gurtquerschnitte. Eine Reihe durchgearbeiteter Entwürfe zweigleisiger Eisenbahndrehbrücken mit verschieden geformten Blechträgern von grösster Höhe $h = \frac{l}{10}$ bis $\frac{l}{7}$ über zwei gleiche Spannweiten zeigte, dass die unter Annahme eines unveränderten J berechneten $\max(+M)$ zu groß und die $\max(-M)$ zu klein ausfallen. Da jedoch bei grösseren Brücken (sobald $\frac{g}{p} \geq \frac{1}{3}$) das $\max(-M)$ an der Mittelstütze für die ausgedrehte Brücke bei weitem grösser als das $\max(-M)$ daselbst für die vollbelastete geschlossene ist, so ergibt die unter Zugrundelegung eines unveränderlichen J durchgeführte Rechnung nirgends einen zu schwachen, sondern nur stellenweise einen zu starken Träger.

Für die Querkräfte Q gilt dasselbe, sobald $\frac{g}{p} \geq \frac{5}{3}$ (vergl. § 61 bis 75).

§ 64. Träger mit zwei ungleich grossen Spannweiten l_1 und l_2 . Eine Reihe bearbeiteter Entwürfe für zweigleisige Eisenbahnbrücken mit Trägern von unveränderlicher Höhe hat gezeigt, dass für $\frac{l_1}{l_2} = 2$ schon von $l_1 = 10$ m an die $\max(+M)$ kleiner und die $\max(-M)$ der geschlossenen und belasteten Brücke grösser ausfallen als dieselben M für ein unveränderliches J . Da aber schon bei $\frac{g}{p} = 0,235$ das $\max(-M)$ der ausgedrehten Brücke das überwiegende ist, so gibt auch hier die Voraussetzung J unveränderlich nirgends zu schwache Abmessungen. Für die Querkräfte gilt dasselbe erst, wenn $\frac{g}{p} \geq 1,463$.

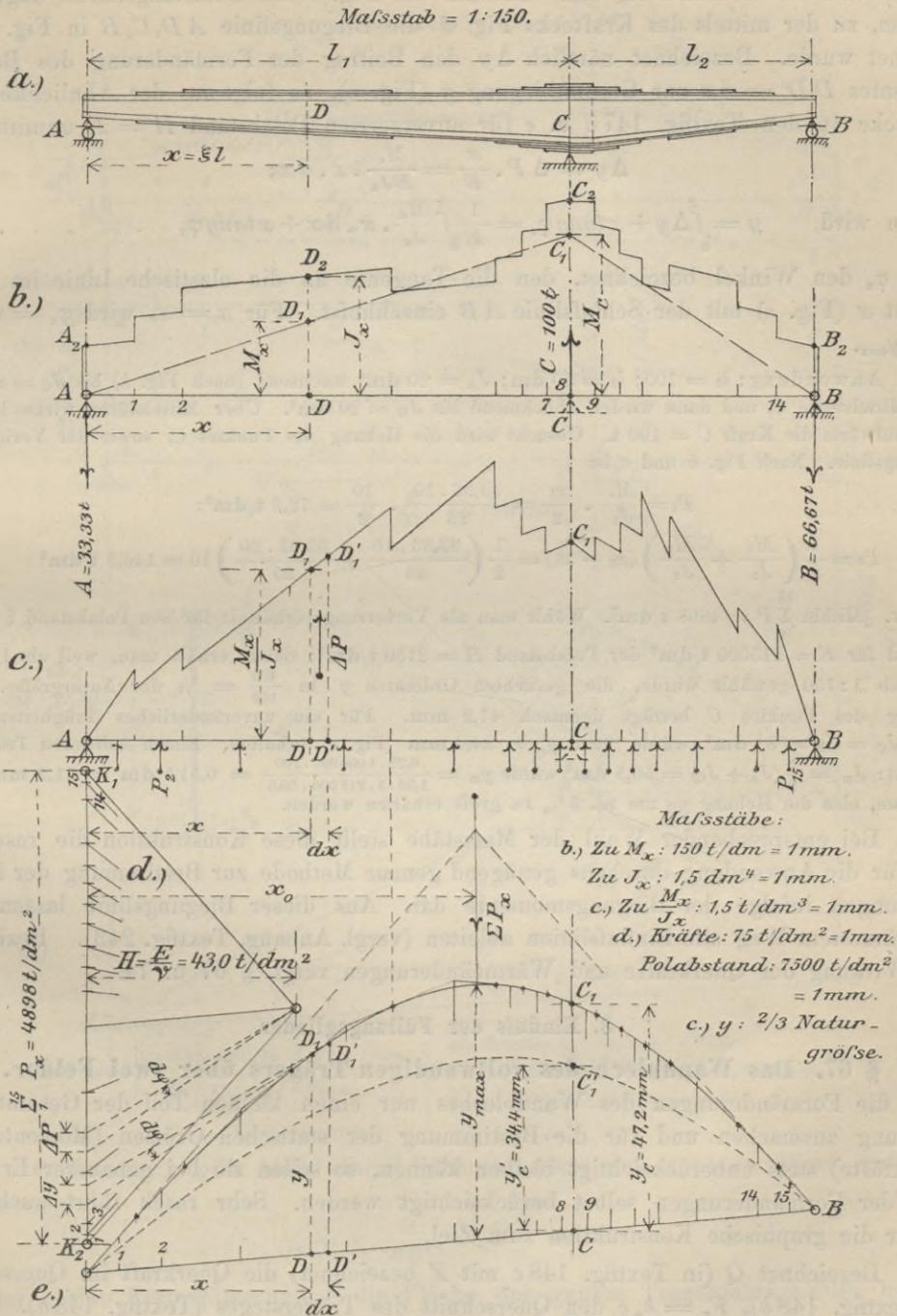
Haben die Träger keine unveränderte Höhe, so tritt der Einfluss der Querschnittsveränderlichkeit in einer sehr verschiedenen Weise auf und ist, wenn eine Änderung der Höhenlage der Stützen in Betracht kommt, oft so erheblich, dass die unter Voraussetzung eines unveränderlichen J berechneten M und Q ganz unbrauchbar sind (vergl. § 70 bis 73).

§ 65. Genaue Berechnung eines Trägers mit veränderlichem J_x über zwei ungleich großen Öffnungen (vergl. § 11 bis 14 des Anhangs). Für die praktische Durchführung gestaltet sich nachstehender Rechnungsvorgang besonders übersichtlich: 1. Unter Annahme eines unveränderlichen Trägheitsmomentes bestimme man nach § 12 c. des Anhangs die Einflusslinien der statischen Größen M und Q . Für eine gleichmäßig verteilte Belastung erhält man hierauf die Größt- und Kleinstwerte der M und Q selbst durch Multiplikation der entsprechenden \pm Einflussflächen mit g und p , wobei die Einflussflächen berechnet oder mittels eines Polarplanimeters bestimmt werden können. Bei Verkehrszügen genügt für diese erste Berechnung eine Zusammenfassung der einzelnen Lastgruppen zu einer gleichmäßig verteilten Belastung vollständig. Für eine Lokomotive von dem Gewichte L und der Länge l erhält man dann z. B. $p_l = \frac{L}{l}$ und für die Tender und Wagen entsprechend $p_t = \frac{T}{t}$ und $p_w = \frac{W}{w}$, wenn W und T die Fahrzeuggewichte und t und w die Fahrzeuglängen bedeuten; die entsprechenden Flächen kann man nun wieder durch Planimetrierung erhalten. Auf eine vollständig genaue Ermittlung der ungünstigsten Laststellungen kommt es dabei vorerst noch nicht an. Hat man derart die größten und kleinsten M und Q für eine genügende Anzahl von Querschnitten gefunden, so kann man die entsprechenden Trägheitsmomente J_x ermitteln (vergl. § 49) und nun zum 2. Teil der Rechnung übergehen. Man denke sich den durchlaufenden Träger an den Endstützen A und B frei drehbar aufgelagert und an der Stelle der Zwischenstütze durch die Last $P = 1$ t belastet; nun bestimmt man rechnerisch (Fortschrittsheft, Anhang B., 2. und 3. oder nach Müller-Breslau, Litt. 59 u. 60 nach § 33 des Anhangs, oder graphisch nach der Mohr'schen Methode, § 12 oder nach § 13) die Biegelinie für den zuletzt vorausgesetzten Belastungsfall. Aus dieser Biegelinie lassen sich nun alle erforderlichen genauen Einflusslinien nach der in den Textfig. 243 c bis g dargestellten Weise ableiten. Gleichzeitig gestattet diese Biegelinie auch den Einfluss einer Stützenüberhöhung unmittelbar anzugeben. Bezeichnet man nämlich die beabsichtigte Stützenüberhöhung mit s , die für $C = 1,00$ gefundene Einsenkung mit c (Textfig. 243, § 12 des Anhangs), so findet sich der tatsächliche Pfeilerstützdruck: $C = \frac{s}{c} 1$ und die negativen Auflagerdrücke, bzw. Entlastungen der Endstützen aus: $A = -C \frac{\nu}{1+\nu}$ und $B = -C \frac{1}{1+\nu}$.

Für ein Einzellastensystem wird nun zweckmäßig die ungünstigste Einstellung des Lastenzuges jeweilig durch graphische Konstruktion des Ausdruckes $\frac{dX}{dx} = 0$, wobei in der Gleichung der Einflusslinie $X = \sum_1^{\nu} P_x \eta_x$, P_x die Lastgrößen und η_x die Einflusswerte bezeichnen, gefunden.

§ 66. Genauere Berechnung eines vollwandigen Trägers beliebig veränderlicher Höhe und veränderlichen Querschnittes (Einfluss der Momente). Die Biegelinie für lotrechte Belastung, deren Gleichung im Anhang (Gl. 1) entwickelt wurde, lässt sich, wie zuerst Mohr (Litt. 68 nach § 37 des Anhangs) nachwies, als Seilkurve mit festem Polabstand konstruieren, wenn man als Polabstand H die Elastizitäts-

Fig. 147. (In Fig. *d* muß $H = 2150$ anstatt $43,0$ stehen.)



ziffer E und als Belastungselement $\Delta P = \frac{M_x}{J_x} dx$ wählt. Trägt man bloß den v ten Teil von H auf, so werden die $\frac{dy}{dx}$ und die y selbst v mal zu groß. In Textfig. 147 ist die Konstruktion der Biegelinie für den allgemeinsten Fall eines Trägers von veränderlicher Höhe und veränderlichem Trägheitsmoment J_x durchgeführt. Die Staffel-

linie $AA_2D_2C_2B_2B$ (Fig. *b*) stellt den Verlauf der Trägheitsmomente und das Dreieck AC_1B den der Momente M_x dar. Hieraus ist Fig. *c* als Belastungsfläche abgeleitet worden, zu der mittels des Kräftecks Fig. *d* die Biegelinie AD_1C_1B in Fig. *e* gezeichnet wurde. Bezeichnet nämlich Δy den Beitrag der Formänderung des Balkenelementes $DD' = dx$ zur Gesamtbiegung y (Fig. *e*), so folgt aus der Ähnlichkeit der Dreiecke in den Textfig. 147 *d* u. *e* für unverzerrten Polabstand $H = E$ unmittelbar:

$$\Delta y = \Delta P \cdot \frac{x}{E} = \frac{M_x}{EJ_x} \cdot x \cdot dx;$$

mithin wird
$$y = \int_0^x \Delta y + x \operatorname{tang} \varphi_x = \frac{1}{E} \int_0^x \frac{M_x}{J_x} \cdot x \cdot dx + x \operatorname{tang} \varphi_x \quad 37.$$

wenn φ_x den Winkel bezeichnet, den die Tangente an die elastische Linie im Querschnitt x (Fig. *e*) mit der Schlußlinie AB einschließt. Für $x = x_0$ wird $\varphi_x = 0$ und $y = y_{\max}$.

Anwendung: $l_1 = 100$; $l_2 = 50$ dm; $J_A = 20$ dm⁴ wachsend (nach Fig. *b*) bis $J_C = 81$ dm⁴ über Mittelstütze C , und dann wieder abnehmend bis $J_B = 20$ dm⁴. Über Mittelstütze wirke lotrecht nach aufwärts die Kraft $C = 100$ t. Gesucht wird die Hebung des Punktes C , sowie der Verlauf der Biegelinie. Nach Fig. *b* und *c* ist

$$P_1 = \frac{M_1}{J_1} \cdot \frac{x_1}{2} = \frac{33,33 \cdot 10}{23} \cdot \frac{10}{2} = 72,3 \text{ t/dm}^2;$$

$$P_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{M_1}{J_1} + \frac{M_2}{J_2} \right) (x_2 - x_1) = \frac{1}{2} \left(\frac{33,33 \cdot 10}{33} + \frac{33,33 \cdot 20}{35} \right) 10 = 146,5 \text{ t/dm}^2$$

u. s. w. Mithin $\int_1^{15} P = 4898 \text{ t/dm}^2$. Wählt man als Verzerrungsverhältnis für den Polabstand $\xi = 100$, so wird für $E = 215000 \text{ t/dm}^2$ der Polabstand $H = 2150 \text{ t/dm}^2$; damit erhält man, weil als Längenmaßstab 1:150 gewählt wurde, die gesuchten Ordinaten y in $\frac{100}{150} = \frac{2}{3}$ der Naturgröfse. Die Hebung des Punktes C beträgt demnach 47,2 mm. Für ein unveränderliches Trägheitsmoment $J_A = J_C = J_B = 81 \text{ dm}^4$ würde man $y'_C = 34,4 \text{ mm}$ (Fig. *e*) erhalten. Einem mittleren Trägheitsmoment: $J_m = \frac{1}{2}(J_A + J_C) = 50,5 \text{ dm}^4$ würde $y_m = \frac{0,25 \cdot 1000000 \cdot 100}{1,50 \cdot 3 \cdot 215000 \cdot 50,5} = 0,512 \text{ dm} = 51,2 \text{ mm}$ entsprechen, also die Hebung y_C um rd. 8% zu groß erhalten werden.

Bei entsprechender Wahl der Maßstäbe stellt diese Konstruktion die rascheste und für die Anwendung durchaus genügend genaue Methode zur Bestimmung der Formänderungen infolge der Biegemomente dar. Aus dieser Biegelinie lassen sich auf kürzestem Weg alle Einflußlinien ableiten (vergl. Anhang, Textfig. 243). Bezüglich der Wirkung der Querkräfte und Wärmeänderungen vergl. § 67 u. 74.

3. Einfluß der Füllungsglieder.

§ 67. Das Wandblech des vollwandigen Trägers über zwei Felder. Obwohl die Formänderungen des Wandbleches nur einen kleinen Teil der Gesamtformänderung ausmachen und für die Bestimmung der statischen Größen (Momente und Querkräfte) stets unberücksichtigt bleiben können, so sollen sie bei genauerer Ermittlung der Formänderungen selbst berücksichtigt werden. Sehr rasch führt auch hier wieder die graphische Konstruktion zum Ziel.

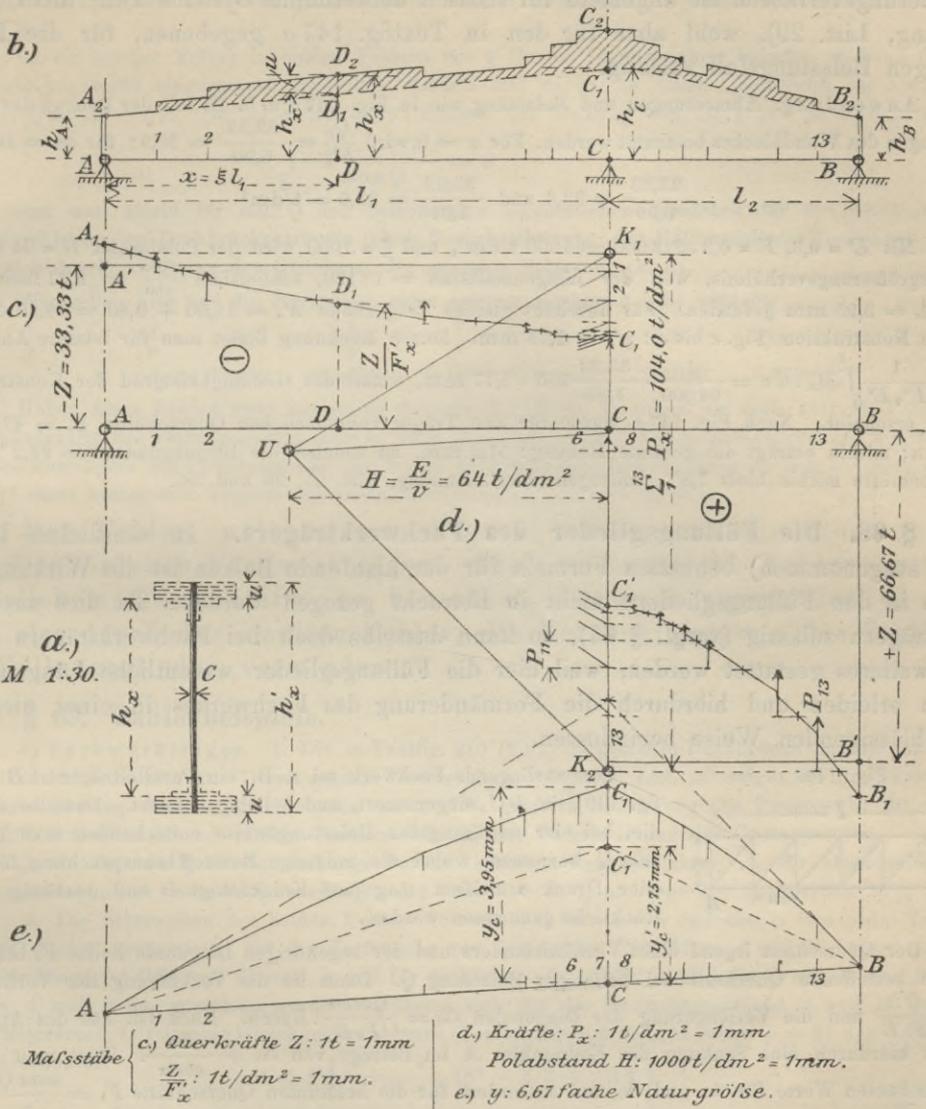
Bezeichnet Q (in Textfig. 148 *c* mit Z bezeichnet) die Querkraft im Querschnitt D (Textfig. 148 *b*), $F_x = h_x c$ den Querschnitt des Trägersteges (Textfig. 148 *a*), so ist die mittlere Schubspannung $\tau_x = \frac{Q}{F_x}$; mithin der Gleitwinkel

$$\gamma_x = \frac{\tau_x}{E'} = \frac{Q}{F_x E'} = \frac{1}{F_x E'} \cdot \frac{dM_x}{dx} \quad 38^a.$$

wenn E' die Elastizitätsziffer für Schubfestigkeit bezeichnet (Anhang, Litt. 25 u. 29 nach § 33).

Fig. 148. (Vergl. Fig. 147.)

Längenmaßstab = 1:150.



Gleichung 1 gibt blofs einen Näherungswert; den genauen Wert liefert die Gleichung

$$\gamma'_x = \alpha \cdot \frac{Q}{FE'} \dots \dots \dots 38^b.$$

in der α eine Formgröße und F die Fläche des ganzen Trägerquerschnittes bedeutet. Nach Land (Anhang, Litt. 29) kann für die Anwendung genau genug $\alpha = \frac{F}{F'_x}$, wobei $F'_x = h'_x \cdot c$ (Fig. a), gesetzt werden, so daß $\gamma'_x = \frac{Q}{F'_x E'}$ wird. Für das Längenelement dx wird $\Delta y = \gamma'_x \cdot dx$, mithin

$$y = \int_0^x \gamma'_x \cdot dx = \frac{1}{E'} \int_0^x Q \cdot \frac{1}{F'_x} \cdot dx \dots \dots \dots 39.$$

Es kann nun mit dem Polabstand $H = E'$ für die Belastungselemente $Q \cdot \frac{1}{F'x}$ mittels des Kräfteckes (Fig. *d*) das Biegungspolygon (Fig. *e*) gezeichnet werden. Dieses Annäherungsverfahren ist allgemein für statisch unbestimmte Systeme zwar nicht gültig (Anhang, Litt. 29), wohl aber für den in Textfig. 147 *a* gegebenen, für die Praxis wichtigen Belastungsfall zulässig.

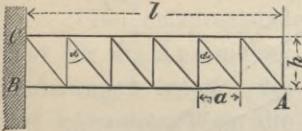
Anwendung. Abmessungen und Belastung wie in Fig. 147 *a* u. *b*. Es soll der Beitrag der Formänderungen des Wandleches bestimmt werden. Für $x = 0$ wird $\frac{Q_0}{F'_0} = \frac{33,33}{0,90} = 36,9$; für $x_1 = 10$ wird

$$\frac{33,33}{0,99} = 33,6 \text{ und } \frac{33,33}{1,01} = 33,0 = t/\text{dm}^2$$

u. s. w. Mit $E' = 0,3$, $E = 0,3 \cdot 213\,000 = 64\,000 \text{ t/dm}^2$, und $\xi = 1000$ wird der Polabstand $H = 64 \text{ t/dm}^2$, das Vergrößerungsverhältnis, weil der Längenmaßstab $= 1:150$, schließlic $\frac{1000}{150} = 6,67$ fach und damit $y_0 = 3,95 \text{ mm}$ gefunden. Für durchaus gleiche Trägerhöhe $h'_c = 18,00 + 0,80 = 18,80 \text{ dm}$ ergibt die Konstruktion (Fig. *c* bis *e*): $y'_c = 2,75 \text{ mm}$. Durch Rechnung findet man für letztere Annahme $y'_c = \frac{1}{F'_c E'} \int_0^l M_x \cdot dx = \frac{1}{64\,000} \cdot \frac{33,33}{1,88} \cdot 100 = 2,77 \text{ mm}$, womit der Genauigkeitsgrad der Konstruktion geprüft erscheint. Nach Fig. 147 *e* wurde für den Träger veränderlichen Querschnitts $y_c = 47,2 \text{ mm}$ gefunden; mithin beträgt die gesamte Hebung: $51,2 \text{ mm}$, zu welcher die Biegemomente $92,2\%$ und die Querkräfte mithin blofs $7,8\%$ beitragen (vergl. Anhang, Litt. 25, 29 und 38).

§ 68. Die Füllungsglieder des Fachwerkträgers. In sämtlichen bisher (§ 67 ausgenommen) benutzten Formeln für durchlaufende Balken ist die Wirkung der Kräfte in den Füllungsgliedern nicht in Betracht gezogen worden. Ist dies auch bei Blechträgern zulässig (vergl. § 67), so kann dasselbe doch bei Fachwerkträgern nicht ohne weiteres gestattet werden, weil hier die Füllungsglieder wesentliche Längenänderungen erleiden und hierdurch die Formänderung des Fachwerkes in einer nicht zu vernachlässigenden Weise beeinflussen.

Fig. 149.



Das vorliegende Fachwerk sei z. B. ein Parallelträger *AB* (Textfig. 149), in *BC* eingemauert, und beliebig belastet. Dasselbe sei für die, bei der ungünstigsten Belastungsweise entstehenden *max M* und *max Q* bemessen, wobei die zulässige Baustoffbeanspruchung für Zug oder Druck σ heißen mag (auf Knickfestigkeit soll vorläufig keine Rücksicht genommen werden).

Der Querschnitt irgend eines Vertikalständers und der zugehörigen Diagonale heiße F_1 bzw. F_2 und die betreffende Querkraft bei beliebiger Belastung Q . Dann ist die Verkürzung der Vertikalen: $\Delta_1 = \frac{Qh}{F_1 E}$ und die Verlängerung der Diagonalen $\Delta_2 = \frac{Q \sec \alpha}{F_2 E} \cdot h \sec \alpha$. Nach Gl. 145 des Anhangs entsteht hierdurch eine Senkung des Endpunktes *A* im Betrage von $\Delta_1 + \frac{\Delta_2}{\cos \alpha}$. Setzt man hierin die berechneten Werte für Δ_1 und Δ_2 und außerdem für die bekannten Querschnitte $F_1 = \frac{\text{max } Q}{\sigma}$ und $F_2 = \frac{F_1}{\cos \alpha}$ ein, so ergibt sich die Senkung von *A* infolge der Längenänderung der Füllungsglieder eines Faches *a*:

$$\Delta_1 + \frac{\Delta_2}{\cos \alpha} = \frac{\sigma}{E} \cdot \frac{Qh}{\text{max } Q} (1 + \sec^2 \alpha)$$

und folglich die Senkung des Endpunktes *A* infolge der Längenänderung der Füllungsglieder für die Längeneinheit des Trägers:

$$\frac{1}{a} \left(\Delta_1 + \frac{\Delta_2}{\cos \alpha} \right) = \frac{\sigma}{a E} \cdot \frac{Qh}{\text{max } Q} (1 + \sec^2 \alpha)^2$$

Die Gesamtsenkung von *A* infolge der Längenänderung sämtlicher Füllungsglieder ist also, wenn man $a = \frac{l}{v}$ schreibt:

$$d = \frac{\sigma}{E} \cdot \frac{vh}{l} (1 + \sec^2 \alpha) \int_0^l \frac{Q}{\text{max } Q} dx \dots \dots \dots 40.$$

Diese Gleichung soll benutzt werden zur Bestimmung der Stützendrücke eines durchlaufenden Fachwerkträgers mit zwei gleich großen Feldern $A_1 A_2 = A_2 A_3 = l$, dessen Parallelgurte vollkommen unelastisch und dessen Füllungsglieder genau proportional den betreffenden, bei ungünstigster Belastung entstehenden und in gewöhnlicher Weise berechneten $max Q$ bemessen sind.

Ist ein solcher Träger in beiden Feldern mit q für die Längeneinheit belastet, so kann derselbe in A_2 als wagerecht eingemauert angesehen werden und es ist für einen Querschnitt im Abstände x von A_1 : $Q = A_1 - qx$. Da bei gleich hohen Stützen die Senkung von A_1 gegen A_2 Null beträgt, so muß nach Gl. 40:

$$\int_0^l \frac{(A_1 - qx) dx}{max Q} = 0$$

sein. Setzt man hierin für $max Q$ den betreffenden algebraischen Ausdruck für die Größtquerkraft eines durchlaufenden Drehbrückenträgers (ohne Berücksichtigung der Füllungsglieder berechnet) ein, so ergibt sich durch Auflösung der Gleichung der gesuchte Stützdruck A_1 .

Wir geben hier nur die Ergebnisse einer solchen Rechnung. Es wird für

$\frac{q}{p} = 0$	$\frac{1}{6}$	$\frac{1}{4}$	1	3	∞
$A_1 = 0,4469$	0,4419	0,4397	0,4342	0,4040	0,3738 . ql .

Haben diese Zahlen zwar nur einen theoretischen Wert, so zeigen sie doch klar, daß durch die Längenänderung der Füllungsglieder eines in allen Teilen für gleiche Maximalbeanspruchung konstruierten Drehbrückenträgers mit Parallelgurten, die Werte der Endstützendrücke näher an den Stützdruckwert $0,375 ql$ eines homogenen Trägers mit unveränderlichem J gebracht werden.

Der Fehler, welchen man begeht, indem man die Stützendrücke von Drehbrücken-Fachwerkträgern über zwei gleiche Felder, mit veränderlichem Querschnitte, so berechnet, als ob J unveränderlich wäre, wird also durch den zweiten Fehler, die Vernachlässigung des Einflusses der Füllungsglieder, vermindert.

§ 69. Zahlenbeispiele.

a) Fachwerkträger. 1. Die in Textfig. 210 (§ 92) dargestellte Drehbrücke hat die Stützweiten $l_1 = 32,0$ und $l_2 = 19,0$ m. Deren genaue Untersuchung (Anhang, Litt. 28) zeigte bei Berücksichtigung der Formänderung der Ausfüllstäbe eine um 20,7% größere Einbiegung des Punktes (8) für die Last $P = 1,00$ t daselbst als mit bloßer Berücksichtigung der Formänderung der Gurtungsstäbe.

2. In dem in § 13 des Anhangs durchgerechneten Beispiel tragen zu der Gesamteinsenkung des Zwischenpunktes C die Formänderungen der Gurtstäbe 75% und jene der Ausfüllstäbe 25% bei.

3. Die Stützweiten der beiden Felder AC und BC betragen $l_1 = l$ und $l_2 = \mu l$; das Trägheitsmoment wachse proportional mit der Entfernung von den beiden Endstützen A und B . Setzt man demnach für die große Öffnung: $J_x = z \cdot x$ und für die kleine: $J'_x = x' x'$, wobei die x und x' von den Endstützen A und B aus gemessen werden, so lassen sich für die Endauflagerdrücke A und B , sowie für den Pfeilerdruck C folgende Gleichungen ableiten (Fortschriftsheft S. 120), wenn $p = \beta l$ den Lastabstand von A bedeutet:

$$\left. \begin{aligned} A &= P \left[1 + \frac{1}{1 + \mu} (\beta^2 - \beta [2 + \mu]) \right] \\ B &= -P \frac{1}{(1 + \mu)\mu} (\beta - \beta^3) \\ C &= P - (A + B) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 41.$$

Setzt man z. B. die kleine Öffnung l_2 halb so groß als die große Öffnung l_1 , so wird $\mu = \frac{1}{2}$. Steht ferner die Last P in Mitte der großen Öffnung AC , so erhält man nach obiger Gleichungsfolge: $A = 0,333 P$; $B = -0,333 P$ und $C = 1,000 P$.

Für $x = l_1$ und $x' = l_2$ wird $J_x = J'_x = J_c$. Nach S. 120 des Fortschrittshettes ruft eine Überhöhung des Trägers über Pfeiler um den Betrag c eine Mehrbelastung der Mittelstütze

$$C = \frac{2 E J_c}{l^3} \cdot \frac{\mu + 1}{\mu^2} c \dots \dots \dots 42^a.$$

hervor, der eine Entlastung der Endstütze um

$$A = \frac{2 E J_c}{l^3} \cdot \frac{c}{\mu} \dots \dots \dots 42^b.$$

entspricht.

Bei ungeänderten Annahmen aber für ein unveränderliches Trägheitsmoment J_0 gibt die Gleichungsfolge 5 bis 6 auf S. 111 des Fortschrittsheftes die Auflagerdrücke: $A' = 0,375 P$; $B' = -0,250 P$ und $C' = 0,875 P$. Die Abweichungen betragen daher $\Delta A = +12,6\%$; $\Delta B = -25,0\%$ und $\Delta C = -12,5\%$. Der Überhöhung der Mittelstütze entspricht: $C' = \frac{3EJ}{\mu^2 l^3} (\mu + 1) c$, mithin wird $C' = \frac{3}{2} C$. Die Belastung der Mittelstütze C für eine gegebene Überhöhung c ist demnach bei dem oben angenommenen Bildungsgesetz der Trägheitsmomente um 50% gröfser als bei durchaus unveränderlichem Trägheitsmoment J_0 . Beachtenswert ist die Unabhängigkeit dieser Mehrung von dem Verhältnis $\frac{l_2}{l_1} = \mu$.

4. Für eine gleicharmige Drehbrücke wird $\mu = 1$, mithin erhält man: $A = 0,375 P$; $B = -0,125 P$ und $C = 0,750$ bzw. $A' = 0,407 P$; $B' = -0,094$ und $C' = 0,687 P$ bzw. $\Delta A = +8,5\%$; $\Delta B' = -8,4\%$ und $\Delta C' = -24,8\%$.

b) Vollwandträger. Es mögen die Verhältnisse der Elbbrücke zu Hohnstorf zu Grunde gelegt werden. Die Stützweiten betragen $l_1 = 19,8 \text{ m}$ und $l_2 = 17,8 \text{ m}$. Die Hauptträger sind Blechträger von 131,6 bis 175,0 cm Höhe mit 1 bis 3 Deckplatten.

Für Vollbelastung z. B. ist bei der Hohnstorfer Brücke $q_1 = q_2 = (g + p)l = 1,3 + 5,1 = 6,4 \text{ t f. d. lfd. m Gleis}$, demnach $M_2 = -329,6 \text{ tm}$, während man bei unverändertem J nach Gl. 22 des Anhangs $M_2 = -285,2 \text{ tm}$, also gegen 16% kleiner erhält.

Ist l_1 mit $(g + p)$ und l_2 nur mit g belastet, so gibt Gl. 38: $M_2 = -200,1 \text{ tm}$. Hiernach wird der Stützdruck $A = 53,3 \text{ t}$ und das $\text{max}(+)M = 221,6 \text{ tm}$, während man bei unveränderten J erhalten würde: $\text{max}(+)M = 226,0 \text{ tm}$. Der Unterschied beträgt nur noch 2% .

In ähnlicher Weise wird für den kürzeren Arm, wenn l_1 mit g und l_2 mit $(g + p)$ belastet ist, $M_2 = -195,4 \text{ tm}$ und $\text{max}(+)M = 165,2 \text{ tm}$, während bei unverändertem J das $\text{max}(+)M = 185,5 \text{ tm}$ herauskommt, daher der Unterschied 12% beträgt.

Es sei schliesslich noch bemerkt, dafs die Träger der Hohnstorfer Brücke für eine gleichbleibende zulässige Maximalbeanspruchung von 730 kg f. d. qcm bemessen worden sind und dafs man zu wesentlich anderen Ergebnissen gelangt, wenn man die zulässige Beanspruchung für verschiedene Stellen des Trägers verschieden annimmt.

4. Einfluss ungleicher Stützhöhe.

§ 70. Überhöhung der Endstützen als Mittel gegen das Aufkippen der Trägerenden. Der Einfluss einer ungewöhnlichen Stützenlage auf die Gröfse der Stützendrücke ist aus den Formeln der Abschnitte II und IV des Anhangs klar zu sehen, wo die von Stützhöhen abhängigen Glieder mit Y (vergl. Gl. 14 daselbst) beziehentlich mit Y_1 und Y_2 (vergl. Gl. 82 u. 83) bezeichnet sind.

Gewöhnlich wird man nach dem Einschwenken der Brücke die Hebung der Trägerenden mindestens so weit treiben, dafs keiner der Stützendrücke bei einseitiger Belastung negativ werden kann.

Gesetzt z. B. man hätte es mit durchlaufenden Drehbrückenträgern über zwei Felder $l_1 = l$ und $l_2 = \nu l$ zu tun. Das Feld l_1 ist mit $(g + p)$, das Feld l_2 nur mit g belastet. Dann ist nach Gl. 25 des Anhangs:

$$A_3 = \frac{Y}{2\nu(1+\nu)l^2} - \left[\frac{1}{4} \cdot \frac{(g+p) + \nu^3 g}{2\nu(1+\nu)} - \frac{1}{2} g \nu \right] l.$$

Soll dieser Wert nicht negativ sein, so mufs

$$Y \geq \frac{1}{4} [p - g(3\nu^3 + 4\nu^2 - 1)] l^3,$$

d. h. bei geradem Trägeruntergurte:

$$\frac{s_1 - s_2}{l_1} + \frac{s_3 - s_2}{l_2} \geq \frac{1}{24EJ} [p - g(3\nu^3 + 4\nu^2 - 1)] l^3 \quad 43.$$

gewählt werden.

Zahlenbeispiel. Es sei $l_1 = 19,8 \text{ m}$; $l_2 = 17,8 \text{ m}$; $p = 5100 \text{ kg}$; $g = 1300 \text{ kg}$ f. d. lfd. m Gleis; $E = 1800000 \text{ kg}$ f. d. qcm; J unverändert = 0,02 für Meter als Einheit. Ist die Hebungsvorrichtung nur in A_1 angebracht, so daß immer $s_3 = s_2$ ist, so folgt aus Gl. 43:

$$\frac{s_1 - s_2}{19,8} \geq \frac{1}{24 \cdot 18 \cdot 10^9 \cdot 0,02} [5100 - 1300 (3 \cdot 0,899^3 + 4 \cdot 0,899^2 - 1) 19,8^3]$$

d. h. $s_1 - s_2 \geq -0,0079 \text{ m}$ oder $s_2 - s_1 \leq 7,9 \text{ mm}$.

Man wird also das Trägende A_1 mindestens bis 7,9 mm unterhalb seiner gewöhnlichen Lage zu heben haben.

Ist außer dem Eigengewichte g noch ein Gegengewicht k f. d. Längeneinheit zu berücksichtigen, so ist dessen Einfluss nach Gl. 18 auf S. 151 dieses Abschnittes zu beurteilen.

Obige Gl. 43 setzt ein unveränderliches J voraus. Ist das Trägheitsmoment J des Balkenquerschnittes veränderlich, so wird man zunächst M_2 nach Gl. 35 des Anhangs und daraus A_1 oder A_3 berechnen, um den erforderlichen Kleinstwert der Stützenüberhöhung zu bestimmen.

Zahlenbeispiel. Für die Hohnstorfer Drehbrücke wird Gl. 35 des Anhangs unter Benutzung der nach § 9 des Anhangs sich ergebenden Zahlenwerte:

$$\Sigma \frac{x^2 \cdot \Delta x}{J} = 100600; \quad \Sigma \frac{x^3 \cdot \Delta x}{J} = 1426800$$

für den in 22 Teile $\Delta = 0,90 \text{ m}$ geteilten großen Arm, und

$$\Sigma x'^2 \frac{\Delta x'}{J} = 91500 \text{ und } \Sigma \frac{x'^3 \cdot \Delta x'}{J} = 1136500$$

für den in 20 Teile geteilten kleinen Arm:

$$\frac{1}{l^2} \left[100600 + \frac{1}{v^2} 91500 \right] M_2 + \frac{1}{2} q_1 \left[100600 - \frac{1426800}{l} \right] + \frac{1}{2} q_2 \left[91500 - \frac{1136500}{vl} \right] \\ = E \left[\frac{s_1 - s_2}{19,8} + \frac{s_3 - s_2}{17,8} \right].$$

Hieraus folgt zunächst M_2 , und dann:

$$A_3 = \frac{M_2}{17,8} + \frac{17,8}{2} \cdot q_2 = -1,4663 q_1 + 7,4733 q_2 + \frac{E}{9701} \left[\frac{s_1 - s_2}{19,8} + \frac{s_3 - s_2}{17,8} \right] \cdot 10000.$$

Setzt man wiederum die Belastung von l_1 zu $q_1 = (g + p) = 6400 \text{ kg}$ und die von l_2 zu $q_2 = g = 1300 \text{ kg}$ f. d. lfd. m Gleis, ferner $E = 1800000 \text{ kg}$ f. d. qcm, und die Hebungsvorrichtung nur in A_1 , also $s_2 = s_3$ voraus, so ergibt sich aus obiger Gleichung $A_3 = 332 + 94000 (s_1 - s_2)$; demnach muß, wenn $A_3 > 0$ bleiben soll, $s_2 - s_1 \leq 0,0035 \text{ mm}$ oder $3,5 \text{ mm}$ sein.

§ 71. Überhöhung der Endstützen als Mittel, die größten Biegemomente der Träger einander gleich zu machen, um ohne übermäßigen Baustoffaufwand Träger von unveränderlichem Querschnitt anwenden zu können. Liegt ein durchlaufender Balken über zwei Felder l und vl , wobei $v < 1$ ist, so findet das größte $\max(-M)$ über der Mittelstütze entweder bei geschlossener Brücke, nach Gl. 22 des Anhangs für $q_1 = q_2 = g + p$:

$$\max(-M) = -\frac{1}{8} (g + p) \cdot \frac{1 + v^3}{1 + v} l^2 = -\frac{1}{8} (g + p) (1 - v + v^2) l^2 \quad \dots \quad 44.$$

oder bei ausgeschwenkter Brücke:

$$\max(-M) = -\frac{1}{2} g l^2 \quad \dots \quad 44^a.$$

statt, je nachdem

$$\frac{4g}{g+p} < (1 - v + v^2) \quad \dots \quad 45.$$

Das größte $\max(+M)$ tritt bei geschlossener Brücke ein, wenn l_1 mit $g + p$ und l_2 mit g belastet ist. Das entstehende A_1 ist nach Gl. 23 des Anhangs:

$$A_1 = \left[-\frac{1}{8} \frac{(g+p) + g v^3}{1+v} + \frac{1}{2} (g+p) \right] l \quad \dots \quad 46.$$

Also für $x = \frac{A_1}{g+p}$:

$$\max(+M) = A_1 x - \frac{(g+p)x^2}{2} = \frac{A_1^2}{2(g+p)} \dots \dots \dots 47.$$

Hierin ist A_1 aus Gl. 46 einzusetzen. — Bezeichnet man nun das durch Heben einer oder beider Endstützen über der Mittelstütze erzeugte Biegemoment mit M' , also das der Abszisse $x = \frac{A_1}{g+p}$ entsprechende Biegemoment mit $\frac{A_1}{g+p} \cdot \frac{M'}{l}$, so würde nach der Bedingung der Aufgabe die Gleichung:

$$\max(-M) + M' = - \left[\max(+M) + \frac{A_1}{g+p} \cdot \frac{M'}{l} \right] \dots \dots \dots 48.$$

zu erfüllen sein. Aus derselben ergibt sich M' und da nach Gl. 22 des Anhangs:

$$M' = \frac{Y}{2l(1+\nu)} = \frac{3EJ}{l^2(1+\nu)} (s_1 - s_2 + \frac{s_3 - s_2}{\nu}) \dots \dots \dots 49.$$

ist, so findet sich hieraus auch die erforderliche Hebung der Endstützpunkte.

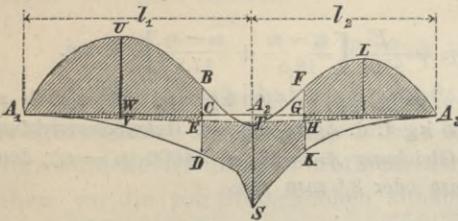
Zahlenbeispiel. Für dieselben Zahlenwerte wie in § 70 hat man nach Gl. 45

$$\frac{4 \cdot 1300}{6400} < 1 - 0,899 + 0,808,$$

also nach Gl. 44: $\max(-M) = -285152$ mkg. Ferner ist bei einseitiger Belastung nach Gl. 46 $A_1 = 53788$ kg und folglich nach Gl. 47: $\max(+M) = 226025$ mkg. Zur Bestimmung von M' hat man nunmehr nach Gl. 48: $-285152 + M' = -226025 - \frac{53788}{6400} \cdot \frac{M'}{19,8}$, woraus $M' = 41495$ mkg folgt. Setzt man voraus, daß der Hebungsapparat sich nur in A_1 befindet, also $s_2 = s_3$ ist, so folgt schließlich aus Gl. 49: $s_1 - s_2 = \frac{M' l^2 (1 + \nu)}{3 E J} = 0,029$ m, d. h. der Stützpunkt A_1 ist um 29 mm über seine regelmäßige Lage zu heben, wenn die absoluten Werte der beiden Größtwerte der Biegemomente einander gleich gemacht werden sollen.

Zu demselben Ergebnis würde man rascher gelangen, wenn man in der graphischen Darstellung der Biegemomente (Textfig. 150) eine gebrochene Gerade $A_1 T A_3$ so zöge, daß die beiden Strecken $(UW + WV)$ und $(A_2 S - A_2 T)$ einander gleich wären. Die Strecke $A_2 T$ stellt dann das erforderliche M' dar, aus welchem sich die entsprechende Stützenüberhöhung nach Gl. 49 berechnet.

Fig. 150.



Soll der Träger zwar mit unveränderlichem Gurtquerschnitte, aber mit veränderlicher Höhe durchgeführt werden, so wird man zunächst die größten vorkommenden $\max(+M)$ und $\max(-M)$ unter Benutzung des § 61 dieses Abschnittes bestimmen. Heißt das Trägheitsmoment an der Stelle, wo das größte $\max(+M)$ eintritt, J_1 und die entsprechende Balkenhöhe h_1 , ferner das Trägheitsmoment über der Mittelstütze J und die Balkenhöhe dort h , so wird das durch die Endstützenhebung zu erzeugende Biegemoment M' durch die Bedingung, daß an beiden Stellen die größte Inanspruchnahme der äußersten Faser dieselbe sein soll, d. h. durch die Gleichung

$$\frac{\max(-M) + M'}{J} \cdot \frac{h}{2} = - \frac{\max(+M) + \frac{A_1}{g+p} \cdot \frac{M'}{l}}{J_1} \cdot \frac{h_1}{2} \dots \dots \dots 50.$$

bestimmt. Ist hiernach M' gefunden, so folgt nach Formel 35 des Anhangs die entsprechende Stützenüberhöhung aus der Gleichung

$$E \left(s_1 - s_2 + \frac{s_3 - s_2}{\nu} \right) = \left(\int_0^1 \frac{\xi^2}{J} d\xi + \nu \int_0^\nu \frac{\xi'^2}{J} d\xi' \right) M' l^2 \dots \dots \dots 51.$$

In obigem ist vorausgesetzt worden, dafs man die Träger für eine gewisse unveränderliche zulässige Beanspruchung des Baustoffes bemifst. Ist dies nicht der Fall, sondern die zulässige grösste Beanspruchung für die verschiedenen Trägerteile verschieden, so wird man die Aufgabe, diejenige Stützenüberhöhung zu finden, bei welcher die grössten vorkommenden Gurtquerschnitte einander gleich werden, am einfachsten graphisch (durch Probieren) lösen, indem man versuchsweise die gebrochene Linie $A_1 T A_3$ (Fig. 150), deren Ordinaten den durch die Endstützenhebung erzeugten M entsprechen, nach den gestellten Bedingungen zieht (vergl. § 14 des Anhangs).

§ 72. Günstigste Stützenüberhöhung mit Bezug auf das Gewicht des Trägers.

Denselben graphischen Versuchsweg wird man auch einschlagen, wenn die Aufgabe vorliegt, die Momentenfläche zu einen Kleinstwert zu machen. Es handelt sich nämlich in diesem Falle darum, eine gebrochene Gerade $A_1 T A_3$ (Textfig. 150) so zu ziehen, dafs (wenn $BE = ED$ und $FH = HK$) die Summe der Flächen $A_1 U B E A_1$ und $A_3 L F H A_3$ möglichst gleich der Summe der Flächen $ETSD$ und $HTSK$ werde.

Wählt man die zulässige Baustoffbeanspruchung σ nicht unveränderlich, so mufs nicht mehr die Momentenfläche, sondern diejenige Fläche, deren Ordinaten die Quotienten $\frac{\max M}{\sigma}$ darstellen, zu einem Kleinstwert gemacht werden.

§ 73. Zulässiger Gröfstwert der Endstützenüberhöhung. Selbstverständlich darf letztere nicht so weit getrieben werden, dafs die eingeschwenkte, aber noch nicht belastete Brücke sich von ihrer Mittelstütze abhebt, d. h. A_2 negativ wird.

Für die in § 71 berechnete Drehbrücke würde man z. B. nach Gl. 27 des Anhangs für $q_1 = q_2 = g$ die Bedingung:

$$A_2 = \frac{19,8}{8 \cdot 0,899} [1 + 4 \cdot 0,899 + 0,899^2 (4 + 0,899)] 1300 - \frac{Y}{2 \cdot 19,8^2 \cdot 0,899} \geq 0$$

d. h. $Y \geq 21574000$ erhalten. Ist nun die Hebungsvorrichtung nur in A_1 angebracht, also $s_2 = s_3$, so folgt aus obigem (vergl. Formel 14 des Anhangs), dafs

$$s_1 - s_2 \leq \frac{19,8 \cdot 21574000}{6 \cdot 18 \cdot 10^9 \cdot 0,02}$$

d. h. dafs die Hebung von A_1 nicht mehr als 0,2 m sein darf, ein Betrag, der nicht leicht überschritten werden wird.

Aufser dieser obersten Grenze kann aber noch eine zweite, meist tiefer liegende beachtenswert sein, diejenige nämlich, bei welcher das Biegemoment an der Mittelstütze der geschlossenen und vollbelasteten Drehbrücke = 0 wird. Setzt man in Gl. 22 des Anhangs $q_1 = q_2 = (g + p)$, so sieht man, dafs $M_2 = 0$ wird für

$$Y = \frac{g+p}{4} (1 + \nu^3) l^3.$$

Unter Zugrundelegung derselben Zahlen wie oben erhält man hiernach:

$$Y = \frac{6400}{4} (1 + 0,899^3) 19,8^3 = 21443000$$

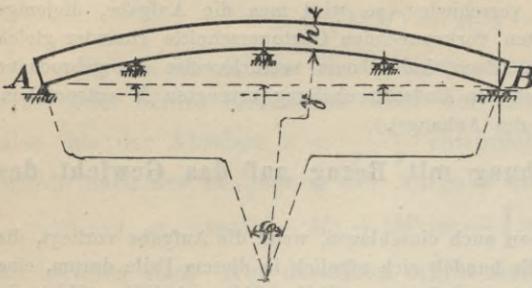
also, wenn die Hebung nur in A_1 geschieht:

$$s_1 - s_2 \leq \frac{19,8 \cdot 21443000}{6 \cdot 18 \cdot 10^9 \cdot 0,02} = 0,199 \text{ m.}$$

5. Einfluss der Wärme.

§ 74. Ungleiche Erwärmung der Gurte bei unveränderlicher Trägerhöhe. Weicht der Wärmezustand des Obergurtes eines über mehrere Öffnungen durchlaufenden Trägers (Textfig. 151) um $\pm \Delta \tau$ Grad von dem des Untergurtes ab, so sucht die Trägerachse einen Bogen zu bilden, dessen Halbmesser $r = \pm \frac{h}{\alpha \cdot \Delta \tau}$ ist, wenn h die Trägerhöhe und α das Ausdehnungsmafs für 1°C . bedeutet, weil nach Textfig. 151

Fig. 151.



$\alpha \cdot r \varphi \cdot \Delta \tau = h \varphi$. Ist blofs eine Zwischenstütze vorhanden und werden die beiden Feldweiten mit $l_1 = l$ und mit $l_2 = v l$ bezeichnet, so entsteht an der Mittelstütze eine Hebung bezw. Senkung des Trägers von

$$c = \pm \frac{(1 + \nu)^4}{32 \cdot r \cdot \nu^2} l^2 = \pm \frac{l^2}{32 \cdot h} \cdot \frac{(1 + \nu)^4}{\nu^2} \cdot \alpha \cdot \Delta \tau.$$

Diesem c entspricht nach Gl. 15 des Anhangs ein Biegemoment an der Mittelstütze:

$$M_c = \frac{Y}{2l(1 + \nu)} = \frac{6 EJ \left(c + \frac{c}{\nu} \right) \frac{1}{l}}{2l(1 + \nu)} = \frac{3 EJ c}{\nu l^2}$$

oder wenn hierin für c der obige Ausdruck eingesetzt wird:

$$M_c = \frac{3}{32} \cdot \frac{EJ \alpha \cdot \Delta \tau}{h} \cdot \frac{(1 + \nu)^4}{\nu^3} \dots \dots \dots 52.$$

Zahlenbeispiel. Für $l_1 = 19,8 \text{ m}$; $l_2 = 17,8 \text{ m}$; $E = 1800000 \text{ kg f. d. qcm}$; $J = 0,02$ für Meter als Einheit; $h = 1,7 \text{ m}$; $\alpha = 0,0000118$ und $\Delta \tau = 15^\circ \text{ C.}$ (nach Bender hat man an der Viktoria-Brücke $\Delta \tau =$ bis zu 19° C. beobachtet) findet man nach Gl. 52: $M_c = 35000 \text{ mkg}$. Das bei Vollbelastung der Brücke an der Mittelstütze entstehende Biegemoment ist in § 69 zu $M_2 = -285200 \text{ mkg}$ gefunden worden, so dafs $M_c =$ nicht weniger als $12,3\%$ von M_2 beträgt.

§ 75. Ungleiche Erwärmung des vollwandigen Trägers beliebig veränderlicher Höhe und veränderlichen Querschnittes (Träger mit zwei Feldern).

Der Wärmeaustausch erfolge stetig zwischen den obersten und untersten Faserschichten des Querschnittes. Für einen Wärmeunterschied zwischen den Randfasern der kälteren Unter- und der wärmeren Obergurte von $\Delta \tau = \tau_o - \tau_u$ Graden Celsius beträgt die Verdrehung $d\varphi$ des Längenelementes $DD' = dx$ (Textfig. 152 *b* u. *d*) an der Gesamthöhe h'_x (Fig. *a*) $d\varphi = \alpha(\tau_o - \tau_u) dx \cdot \frac{1}{h'_x} = \alpha \cdot \Delta \tau \frac{dx}{h'_x}$, wenn α die Ausdehnungsziffer für 1° C. bedeutet. Wegen der Kleinheit der Verdrehungswinkel kann $\Delta y = x \cdot d\varphi$ gesetzt werden, so dafs schliesslich

$$y = \alpha \cdot \Delta \tau \int_0^x \left(\frac{1}{h'_x} \right) x \cdot dx + x \text{ tang } \varphi_x \dots \dots \dots 53.$$

wird. Da diese Gleichung im Aufbau der Gl. 37 (S. 160) vollständig übereinstimmt, kann sie in gleicher Weise wie dort konstruiert werden; man hat blofs für $E = \frac{1}{\alpha \cdot \Delta \tau}$ und $\frac{M_x}{J_x} \cdot dx = \left(\frac{1}{h'_x} \right) dx$ zu setzen. Die Durchführung der Konstruktion zeigt Textfig. 152 *a* bis *d*.

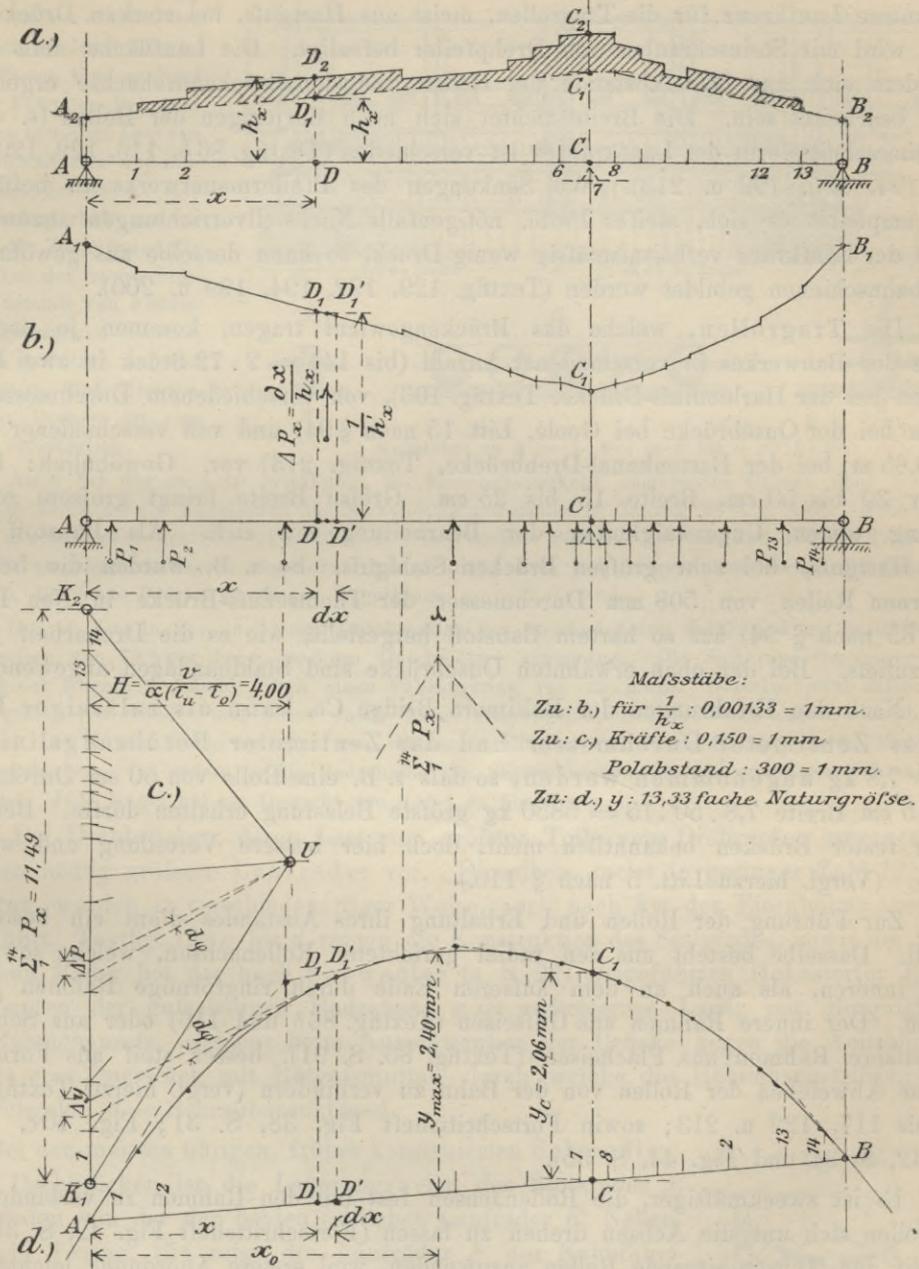
Anwendung (vergl. auch Fig. 147): Die Stützweiten seien wieder $l_1 = 100$ und $l_2 = 50 \text{ dm}$; die Wandblechhöhen gibt Fig. 152 *a*, in der $h_A = 9,00 \text{ dm} = h_B$; $h_C = 18,00 \text{ dm}$ ist; die Gesamthöhen, einschliesslich der Deckflacheisen (Textfig. 152 *a*) seien h'_x , z. B. über Zwischenstütze *C*: $h'_C = 18,00 + 0,80 = 18,80 \text{ dm}$. Nach Textfig. 152 *a* u. *b* wird:

$$P_1 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{9,00} + \frac{1}{9,90} \right) 10 = 1,060; \quad P_2 = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{11,10} + \frac{1}{12,00} \right) 10 = 0,867,$$

u. s. w., mithin $\sum_1^{14} P = 11,49$ Einheiten. Die Polweite $H = \frac{1}{\alpha \cdot \Delta \tau}$ wird für $\Delta \tau = 10^\circ$ und $\alpha = \frac{1}{80000}$ $H = 8000$ Einheiten. Wählt man das Verzerrungsverhältnis $\xi = 2000$, trägt also für H blofs $\frac{8000}{2000} = 4,0$ Einheiten auf, so werden die gesuchten Biegeordinaten wegen des Längenmassstabes $1:150$ in $\frac{2000}{150} = 13,33$ facher Naturgröfse erhalten und damit $y_c = 2,06 \text{ mm}$ gefunden. Wird der

Fig. 152. (Vergl. Fig. 147.)

Längenmaßstab = 1:66,7.



Träger AB im Punkt C am Abheben gehindert, so erfährt die Mittelstütze durch die ungleiche Erwärmung eine Entlastung (vergl. Fig. 152 a u. b) von $C = 100 \cdot \frac{2,06}{47,2} = 4,36 \text{ t}$ und die beiden Endstützen Mehrbelastungen: $A = 4,36 \cdot 0,333 = 1,45 \text{ t}$ und $B = 4,36 \cdot 0,666 = 2,90 \text{ t}$. Das Moment über Zwischenstütze wird mithin

$$M_c = 1,45 \cdot 100 = 145 \text{ tdm} = 14500 \text{ mkg}.$$

III. Einzelheiten der Konstruktion und Berechnung der Brückenauflagerung auf dem Drehpfeiler.

§ 76. Unterer und oberer Laufkranz. Tragrollen. Tragkugeln. Laufräder.

Der untere Laufkranz für die Tragrollen, meist aus Hartguß, bei starken Brücken aus Stahl, wird mit Steinschrauben am Drehpfeiler befestigt. Die Lauffläche muß genau nach dem sich aus dem Abstände der Rollen von der Brückendrehachse ergebenden Kegel bearbeitet sein. Die Breite richtet sich nach derjenigen der Rollen (s. unten). Die Querschnittsform des Laufkranzes ist verschieden (Textfig. 86 *b*, 116, 122, 129, 130, 191, 194, 195, 199 u. 213). Wo Senkungen des Pfeilermauerwerks zu befürchten sind, empfiehlt es sich, steifes Profil, nötigenfalls Nachstellvorrichtungen anzuwenden. Erhält der Laufkranz verhältnismäßig wenig Druck, so kann derselbe aus gewöhnlichen Eisenbahnschienen gebildet werden (Textfig. 129, 192, 194, 199 u. 200).

Die Tragrollen, welche das Brückengewicht tragen, kommen je nach der Größe des Bauwerkes in verschiedener Anzahl (bis $144 = 2 \cdot 72$ Stück in zwei Rollenkränzen bei der Harlemluvs-Brücke, Textfig. 103), von verschiedenem Durchmesser (bis 0,92 m bei der Ousebrücke bei Goole, Litt. 15 nach § 94) und von verschiedener Breite (bis 0,85 m bei der Bartonkanal-Drehbrücke, Textfig. 213) vor. Gewöhnlich: Durchmesser 30 bis 50 cm, Breite 15 bis 25 cm. Große Breite bringt größere rollende Reibung wegen Ungenauigkeiten der Bearbeitung mit sich. Als Baustoff dient meist Hartguß, bei sehr großen Brücken Stahlguß. So z. B. wurden die 58 gußstählernen Rollen von 508 mm Durchmesser der Themseflufs-Brücke in Neu London (Litt. 85 nach § 94) aus so hartem Baustoff hergestellt, wie es die Drehearbeit gerade noch zuließe. Bei der oben erwähnten Ousebrücke sind Stahlbandagen angewendet.

Nach den Erfahrungen der Baltimore Bridge Co. kann als zulässiger Druck für das Zentimeter Durchmesser und das Zentimeter Berührungslinie der Rolle 7,8 kg angenommen werden, so daß z. B. eine Rolle von 50 cm Durchmesser und 15 cm Breite $7,8 \cdot 50 \cdot 15 = 5850$ kg größte Belastung erhalten dürfte. Bei Rolllagern fester Brücken bekanntlich mehr, doch hier bessere Verteilung und weniger Stöße. (Vergl. hierzu Litt. 5 nach § 110.)

Zur Führung der Rollen und Erhaltung ihres Abstandes dient ein besonderes Gestell. Dasselbe besteht aus den radial gerichteten Rollenachsen, welche sowohl an ihrem inneren, als auch an dem äußeren Ende durch ringförmige Rahmen gefaßt werden. Der innere Rahmen aus Gußeisen (Textfig. 86 *b* und 116) oder aus Schmied-, der äußere Rahmen aus Flacheisen (Textfig. 86, S. 91), besser steif aus Formeisen, um das Abweichen der Rollen von der Bahn zu verhindern (vergl. hierzu Textfig. 103, 114 bis 117, 122 u. 213; sowie Fortschrittsheft Fig. 38, S. 31; Fig. 40 *c*, S. 32; Fig. 42, S. 34 und Fig. 44, S. 35).

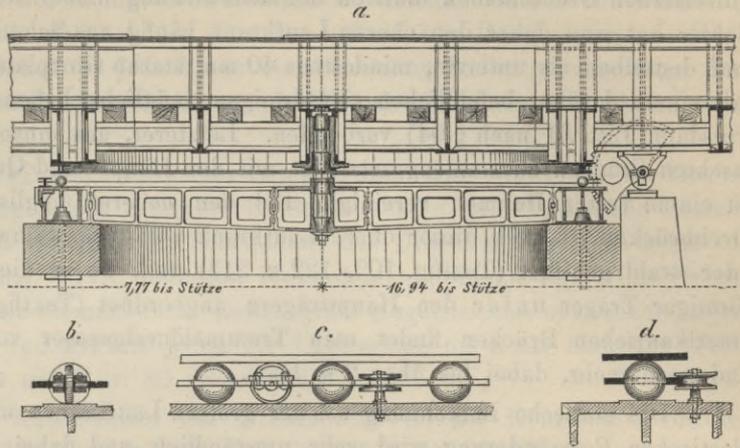
Es ist zweckmäßiger, die Rollenachsen fest mit den Rahmen zu verbinden und die Rollen sich um die Achsen drehen zu lassen (Fortschrittsheft Fig. 42, S. 34), als fest auf den Achsen sitzende Rollen anzuwenden, weil erstere Anordnung leichter ausführbar ist und größere Steifigkeit bietet. Die Rollenachsen sind der Aussteifung halber nicht zu schwach, in manchen Fällen stärker als ihre radialen Verlängerungen zu halten.

Tragkugeln statt Rollen sind (nach dem Patent von Weickum) bei mehreren neueren Drehbrücken angewandt.

Die ungleicharmige (16,94 m u. 7,77 m) Drehbrücke im Hafen von Pola (Textfig. 153 a bis d) ruht auf einem 5,5 m im Durchmesser haltenden Kugelkranz; es sind Hartgufskugeln von 10 cm Durchmesser angeordnet, welche auf einer ebenen Fläche laufen und durch einen Blechring geführt werden,

Fig. 153. Drehbrücke im Kriegshafen zu Pola.

der selbst wieder seine Führung durch seitlich angebrachte Rollen erhält. Der Zentralzapfen der Brücke ist nicht belastet, sondern dient nur zur Führung. Bei einer gesamten bewegten Last von 80 t sind zum Aus- und Einschwenken der Brücke vier Mann erforderlich und es beträgt der Zeitaufwand für das Senken der im geschlossenen Zustande von 6 Stützrollen getragenen Brücke, bis zum Aufsitzen auf den Kugelkranz, fünf Minuten. Für das Drehen ist eine Minute erforderlich.



Mafsstäbe: zu a = 1 : 80; zu b bis d = 1 : 20.

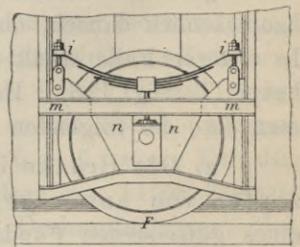
Auch bei der in § 40 erwähnten, für Eisenbahnverkehr umgebauten Brücke über den Canal grande in Triest ist ein Kugelkranz zur Anwendung gekommen (s. Textfig. 96 a, S. 103). Nachdem der Zapfen durch Drehen des Schneckenrades R_3 seine höchste Stellung erreicht hat und die Trägerenden sich ganz von ihren Auflagern abgehoben haben, dreht sich, bei fortgesetztem Drehen des Schneckenrades R_3 , die ganze Brücke um diesen Kugelkranz.

Die 20 Kugeln von je 11 cm Durchmesser aus geschmiedetem Stahl sind zu je 10 Stück in zwei Kreisen von 79,5 cm bzw. 90,5 cm Durchmesser angeordnet. Die Sicherung der gegenseitigen Stellung der Kugeln geschieht durch einen Führungsring von 25 . 2 cm. Derselbe wird außen durch kleine gufseiserne Ständer und innen durch kleine Führungsplättchen zentrisch zum Drehzapfenmittel gehalten. Die Kugeln laufen zwischen zwei stählernen Ringen, von denen der eine an die Bodenplatte des Hauptkastens, der andere an die Radscheibe des Schneckenrades R_3 mit versenkten Schrauben befestigt ist. Jede Kugel hat ein Gewicht von 5,95 t zu übertragen.

Bei Drehbrücken, deren Last zum größten Teile vom Drehzapfen getragen wird, kommen häufig größere Laufräder vor. Dieselben, meist in geringer Zahl (2 bis 4) vertreten, werden in verschiedenartiger Weise, auch nach Art der Eisenbahnwagenräder ausgeführt. Textfig. 129 a bis d zeigen die Konstruktion des Stützrades, sowie der beiden seitlichen Räder bei der nach Schwedler (s. S. 92) ausgeführten Hohnstorfer Brücke. a = Zapfen der gufseisernen Radachse; x = gufseisernes Lager mit Rotgulfutter; b = Rahmenansatz, welcher beim Ausschwenken der Brücke gegen die Achsbüchse x drückt; c = Querstück mit Rotgulfmutter, durch welche die Höhennachstellschraube l hindurchgeht; d = Schraubenschlüssel.

Bei den meisten übrigen, früher konstruierten Schwedlerschen Drehbrücken ist die Lagerungsweise des Stützrades E verschieden von der der beiden seitlichen Laufräder F. Nebstehende Textfig. 154 zeigt die Laufräder F der Kahnfahrtbrücke (Lit. 47 nach § 94). Die aus einem Dreieck von 312 mm Breite und 405 mm Höhe herausgeschnittenen 4 Stück 16 mm dicken und 78 mm breiten gufsstählernen Federblätter werden durch die beiden Aufhängeschrauben i auf je 2500 kg, zusammen also auch auf 5000 kg angespannt.

Fig. 154.



Der obere Laufkranz, welcher das ganze oder den größten Teil des Brückengewichtes auf die Laufrollen zu übertragen hat, war früher häufig, wie auch die zu dessen Aussteifung dienenden Teile aus Gußeisen hergestellt (Textfig. 86, S. 91). Diese gußeisernen Drehscheiben mußten der Stosswirkung halber sehr stark gehalten werden. Später hat man daher den oberen Laufkranz häufig aus Schmiedeeisen (Stahl) hergestellt und denselben als unterste, mindestens 40 mm starke Gurtplatte durch versenkte Nietung mit einem darüber befindlichen ringförmigen, möglichst hohen Blechträger (Havelbrücke Potsdam, Litt. 31 nach § 94) verbunden. Letzterer, aus einzelnen miteinander gut verlaschten Stücken zusammengesetzt, ist mit den Haupt- und Querträgern der Drehbrücke zu einem festen Rahmen vereinigt. Bei den neueren englischen und amerikanischen Drehbrücken ist auch dieser obere Laufkranz völlig aus Schweißeisen bzw. Flußeisen oder -stahl gebildet (Textfig. 103, 122 u. 213) und, wo es die Höhe gestattet, als ringförmiger Träger unter den Hauptträgern angeordnet (Textfig. 103, 122 u. 213). Bei amerikanischen Brücken findet man Trommeldurchmesser von 15,35 m (Textfig. 103) und noch mehr, dabei bis über 2 m hoch.

Die statische Berechnung solcher großen Laufkränze unter Berücksichtigung der elastischen Formänderung wird sehr umständlich und dabei doch unzuverlässig. Man wird daher unter ungünstigsten Belastungsannahmen die einzelnen Ringstücke als Balken ansehen, die an den Überkreuzungsstellen mit den Haupt- und Querträgern gelagert und durch die stärksten Rollendrücke nach oben gebogen werden.

Die Anordnung der Trommel *a* bei ein- und zweigleisigen Bahnbrücken ist der Textfig. 114 *a* u. *b* (S. 114) zu entnehmen, in der *m* die Hauptträgerpfosten bedeuten. Die in neuester Zeit ausgeführten, sehr breiten amerikanischen Brücken erfordern je nach der Zahl der Hauptträger besondere Anordnungen. Bezüglich der viergleisigen, 17,84 m breiten Harlemlufts-Brücke mit drei Hauptträgern vergl. Textfig. 103 (S. 110) und Litt. 109 nach § 94; sowie einer anderen 26,21 m breiten Harlemlufts-Brücke mit 4 Hauptträgern Litt. 110 nach § 94 und Fortschrittsheft Fig. 42, S. 34.

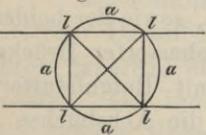
Gestatten es die Verhältnisse, so erscheint es am zweckmäßigsten (Pointstreet-Brücke, Providence), den Hauptträger über der Trommel nur mit den Pfosten *ll* zu versehen (Textfig. 155). Zur Berechnung der Trommel wird man dieselbe als in *ll*

festgehalten und dazwischen durch die Rollen in die Höhe gedrückt aufzufassen haben. Bei Drehbrücken, deren Last vom Zapfen getragen wird und deren Trommel an den Zapfen angehängen bzw. gegen letzteren abgesprengt ist (Textfig. 114), hat die Trommel nicht nur die durch die Belastung hervorgerufenen Biegemomente, sondern auch noch die von den Stangen *b* nach innen bzw. nach außen ausgeübten Radialkräfte auszuhalten.

§ 77. Die Konstruktion des Drehzapfens und seiner Lagerung richtet sich hauptsächlich danach, ob der Zapfen nur zur Führung oder zur Stützung dienen soll. In ersterem Falle erhält der Zapfen weder eine besondere Spurpfanne, noch ein Druckhaupt (Textfig. 116). Hat man es dagegen mit einem Stützzapfen zu tun, so wendet man eine der folgenden Konstruktionen an:

a) Die Brücke ist an den Zapfen aufgehängt und es drückt der Stützzapfen von unten gegen die oberhalb befindliche Spurpfanne. Der mittels eines gußeisernen Fundamentstückes *g* (Textfig. 108) gehörig tief in das Mauerwerk des Pfeilers eingesetzte schmiedeeiserne Zapfen *z* (Textfig. 86 *b*) erhält entweder einen

Fig. 155.



verstählten Kopf oder besser ein mit viereckigem Dorn eingesetztes Stahlstück, oder er wird auch, bei starker Beanspruchung, ganz aus Stahl gemacht und drückt sich gegen eine aus Stahl oder Komposition hergestellte, in das Druckhaupt eingelegte, meist konkave Spurplatte an. Bei der Königshafen-Brücke, Rotterdam, hatte man sowohl die Spurpfanne h (Textfig. 118), als auch den darunter befindlichen Druckzapfen aus Gufstahl ausgeführt. Nachträglich ist jedoch, da die Abnutzung keine gleichmäßige war, das Stück h von Rotguß und (abweichend von der Figur) mit konvexer unterer Druckfläche hergestellt worden.

Das Druckhaupt a (Textfig. 118), aus Schmiedeisen oder Stahl, hat im Grundrisse eine der Anzahl Hängebolzen c entsprechende vieleckige oder kreisrunde Gestalt. Die Bolzen übertragen das Gewicht der Brücke auf das Druckhaupt a und somit auf den Drehzapfen z . Bei der 747 t schweren Hawarden-Drehbrücke lagert das Druckhaupt a aus weichem Martin-Siemens-Stahl mittels eines Kugelabschnittes in einer Lagerschale, deren Halbmesser von 487 mm jenen der Lagerschale um 6 mm übertrifft (Fortschrittsheft Fig. 26, S. 24 und Litt. 80 nach § 94).

Eigenartig ist die Konstruktion des Drehzapfens an der Königshafen-Brücke, Rotterdam (Textfig. 118): Hohlzylinder 5,01 m lang, 504 mm im Durchmesser, aus zwei 8 mm starken Blechen mit eben solchen Laschen und drei äußeren Verstärkungsrippen. Das Innere ist mit Beton ausgefüllt. Der Fuß des Zapfens besteht aus einer durch Blechkonsolen mit dem Zapfenzylinder verbundenen Blechplatte von 1550.1550.11 mm, welche 1,9 m tief im Pfeilermauerwerk auf einer entsprechenden, 120 mm starken Gufsplatte aufruhet. Die Anordnung langer Drehzapfen mit Druckhaupt ist bei den holländischen Drehbrücken sehr häufig (Litt. 78 nach § 94).

Hiervon abweichend und einfach ist die Drehzapfenkonstruktion der Hunte-Brücke (Textfig. 110); der gusseiserne Kegel hat 60 mm Wandstärke. Ähnliche Kegelform findet man bei den Zapfen der amerikanischen Brücken, wobei man jedoch das auf dem halbkugeligen Zapfenende ruhende Druckhaupt in zwei Teile a_1 und a_2 (Textfig. 117) spaltet und zwischen diese beiden 1 oder 2 Reibungsrollen-Kränze einlegt (Antifriktions-Drehlager nach Seller's Patent). Die abgestumpft kegelförmigen Stahlwalzen liegen nebeneinander und laufen zwischen zwei ringförmigen Einsätzen von Stahl. Die flach-kugelabschnitt-förmigen Endflächen der Reibungsrollen lehnen sich an die entsprechend bearbeiteten Seitenansätze der stählernen Laufringe, so daß der Schmierstoff nicht ausfließen kann (Pointstreet-Brücke, 272 t schwer, auf 22 Walzen von 89 mm Länge und 64 bis 89 mm Durchmesser). Der Fabrikant gewährleistet bei bester Ausführung 1250 kg als zulässige Rollenbelastung für das laufende Zentimeter Berührungslinie. Einen kegelförmig ausgestalteten Königsstuhl zeigt auch eine englische Drehbrücke über den Glamorganshire-Kanal (Fortschrittsheft Fig. 35, S. 30).

Das Zapfengehäuse (der Hauptquerträger) wurde früher vielfach aus Gufseisen hergestellt; bei neueren holländischen und englischen Brücken vermied man die Anwendung des wenig stofffesten Gufseisens und liefs die Hängebolzen an schmiedeiserne Zwischenträger angreifen. Die Anzahl der Hängebolzen beträgt meist 4 bis 12 und mehr. Da jedoch hierbei Unbestimmtheit der Kraftverteilung entsteht, so hat man bei neueren holländischen Brücken (Dordrecht, Amsterdam, Taf. 13, Fig. 6 u. 7, sowie Taf. 16, Fig. 2 a u. b der Litt. 80 nach § 94) nur 3 stählerne Hängebolzen von 14 cm Kleinstdurchmesser angewandt und hierbei auch den gusseisernen Drehzapfenträger, des leichteren Gusses und bequemerer Aufstellung halber, zweiteilig ausgeführt. Bei der

Hawarden-Drehbrücke sind nur zwei Bolzen von je 225 mm Durchmesser angeordnet (Fortschrittsheft Fig. 26, S. 24 und Litt. 80 nach § 94).

Hervorzuheben ist die an der Zaan-Brücke bei Zaandam getroffene Anordnung, um bei vier Hängebolzen möglichst gleiche Beanspruchung derselben zu erzielen. Auf der Obergurtung der Hauptquerträger befindet sich eine eiserne Platte, die durch vier Schraubenkeile in beliebige Entfernung von dem Druckhaupte gebracht werden kann, wodurch Druckhaupt und Eisenplatte sich ganz genau parallel und in der gewünschten gegenseitigen Entfernung einstellen lassen. Bei einer Drehbrücke ohne derartige Vorrichtung in Amsterdam ist es vorgekommen, daß durch zu starkes Anziehen einer der Hängebolzen brach.

In Deutschland haben für größere Ausführungen mit Recht diese schlanken Drehzapfen keine Anwendung gefunden, da selbst bei sorgfältigster Aufstellung es sich kaum vermeiden läßt, daß auch Biegemomente auftreten.

b) Die Brücke ist auf den Zapfen aufgesetzt und es drückt der Stützzapfen von oben gegen die unterhalb befindliche Spurfanne oder auch es ist der Stützzapfen mit einer oberen und einer unteren Druckpfanne versehen. Die Ausführung im einzelnen kann sehr verschieden sein. Zur Höhennachstellung dienen entweder wagerechte Keile oder lotrechte Schrauben. Textfig. 129 zeigt die Anordnung bei der Hohnstorfer Brücke: Gußstahlzapfen in einem Schmiedestück *cc* gelagert, welches letztere an dem Drehzapfenträger *a* befestigt ist. *ll* = Pafskeile, *ii* = Federn, in entsprechende Nuten von *cc* eingreifend. Höhenstellkeile durch Schrauben *cc* feststellbar.

Bei der ebenfalls nach Schwedler'schem System konstruierten Parnitz-Brücke der Breslau-Schweidnitz-Freiburger Bahn (Litt. 45 nach § 94) ruht die stählerne Pfanne für den Drehzapfen in dem gußeisernen (in seinem oberen Teile in zwei Hälften auseinandernehmbaren) Lagerbocke auf einer kräftigen Schraube aus Gußstahl (120 mm Durchmesser), welches mittels eines Schneckenradvorgeleges auf und ab zu bewegen ist. Beim Drehen der Brücke erhält die Schraubenspindel 1440 kg Belastung für 1 qmm des Kernes und die Schraubengänge der Rotgußmutter werden mit 248 kg f. d. qcm auf Abscherung in Anspruch genommen.

Zu den auf Drehzapfen gelagerten Brücken gehören ferner: die Drontheimer Drehbrücke; eine Anzahl neuerer größerer deutscher Drehbrücken: Niederbaum-Drehbrücke, Textfig. 130; Ludwigshafener, Textfig. 212 *a* und Taf. I, Fig. 15; Harburg, Textfig. 195; Industriehafen Mannheim, Textfig. 199; Mannheimer Rheinstraßen-Drehbrücke, Textfig. 102; Jungbusch-Brücke Mannheim, Textfig. 196; Hafenbrücke Cuxhaven, Textfig. 194; Drehbrücke Reiherstieg, Textfig. 192; Drehbrücke NeuhoF, Textfig. 189 *b* und 191 *c* und Herrendrehbrücke Lübeck, Taf. III, Fig. 15 bis 18.

Auch die auf Druckwasserkolben ruhenden Drehbrücken, die sehr verschiedenartige Anordnungen aufweisen, deren einige näher besprochen werden mögen, sind hierher zu rechnen.

Die Last wird bei der Marseiller Brücke (Textfig. 106, vergl. auch § 40) auf den (wegen des Brückenkippen vor dem Ausschwenken) zeldachförmig gestalteten Zapfenkopf durch das gußeiserne Druckhaupt, auf welchem der kastenförmige Hauptquerträger *a* sitzt, übertragen. Der Durchmesser des Zylinders ist von der Last und dem zur Verfügung stehenden Wasserdrucke abhängig. Eine Anlage mit geringerem Drucke ist billiger, weniger umständlich und auch weniger gefährlich, verlangt aber größeren Kolbendurchmesser. Wird der Zylinder aus Gußeisen hergestellt, so muß derselbe sehr starke Wände erhalten (Viktoria-Brücke, Leith, 152 mm Wanddicke bei

1,3 m Zylinderdurchmesser und 50 Atm. Druck). Bei der Marseiller Brücke, wo der Druck 270 Atm. beträgt, ist der Aufsenzylinder aus Schmiedeisen.

Der Presskolben der Bartonkanal-Drehbrücke ist aus Gufseisen, besitzt 1,46 m Durchmesser und hat 800 t zu heben (vergl. Textfig. 213; Fortschrittsheft S. 26 und Litt. 112 nach § 94).

Die 810 t schwere Pollet-Drehbrücke besitzt einen Druckwasserkolben von 1278 mm Durchmesser und trägt am Kopf einen gufstählernen halbzyklindrischen Querszapfen, der das Wippen der Brücke in lotrechter Längsebene gestattet (Fortschrittsheft Fig. 58f, S. 45 und Litt. 93 nach § 94).

Eine Ausnahme unter den amerikanischen Drehbrücken macht die gleicharmige, 107,3 m lange Riparia-Brücke, die in ausgedrehtem Zustand auf einem anhebbaren Druckwasserkolben ruht (Litt. 95 nach § 94).

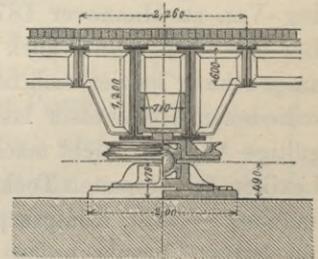
Mustergültige Ausgestaltung dieser Lagerungsart weisen große deutsche, insbesondere die Nord-Ostseekanal-Drehbrücken auf (§ 84). Die gufseiserne Hebepresse der schiefen gleicharmigen Baakenbrücke bei Hamburg hebt die Brücke (Fortschrittsheft Fig. 14 u. 15, S. 12 u. Litt. 89 nach § 94) bloß lotrecht, während bei den großen Drehbrücken über den Nord-Ostseekanal das Haupt des Druckkolbens als Lager ausgebildet ist, das durch entsprechende Breite (1130 mm bei der Rendsburger Brücke) seitliche Steifigkeit gewährleistet und in der Ebene der Brückenlängsachse die erforderliche Kippbewegung gestattet. Einzelheiten siehe Textfig. 183 u. 185 und Fortschrittsheft Fig. 2 (S. 3), in der auch die verschiedenen Baustoffe der Bestandteile der Hebepresse ersichtlich gemacht sind (vergl. ferner § 84).

Eigenartig, von den bisher besprochenen Anordnungen abweichend, ist die Konstruktion der Drehbrücke zu Aubervillers (la Villette, Paris), (siehe Textfig. 156), wo der Drehzapfen, um sowohl das Drehen, als auch das Kippen der Brücke zu gestatten, aus einer 0,35 m im Durchmesser haltenden Kugel von weicher Phosphorbronze besteht. Der Kugelzapfen befindet sich zwischen zwei hohl-kalbkugeligen Lagerschalen aus harter Phosphorbronze, von denen die obere mit dem Überbau fest verbunden ist, während die untere, mittels eines breiten Gufsstückes, auf dem Pfeilermauerwerk ruht. Die Verbindung der oberen Lagerschale mit dem Überbau geschieht durch ein gufstählernes, gleichzeitig die gufseiserne Trommel für die Drehkette tragendes Stück und außerdem durch ein zweites kastenförmiges Gufsstahlstück, welches mit den Längs- und Querträgern der Brücke verschraubt ist. Die beiden genannten Gufsstahlstücke berühren sich durch Vermittelung einer breiten Stahlplatte und sind miteinander verschraubt.

Wie die Erfahrung gezeigt hat, wird der Kugelzapfen bei der Drehung der Brücke allmählich durch die obere Lagerschale verschoben, so daß die Berührungspunkte der Kugel sich stets erneuern, was für die gute Erhaltung der letzteren von Wichtigkeit ist. Der Druck auf den Zapfen beträgt beim Drehen 130 t.

Ganz abweichend von den bisher besprochenen Anordnungen ist der Hubzapfen der Drehbrücke in Ruhrort angeordnet. Er wird durch einen ungleicharmigen Hebel um 6 cm vor dem Ausdrehen der Brücke gehoben, wobei der Hebel durch eine mittels Wasserdruck bewegte Hubkette bewegt wird (Fortschrittsheft Fig. 20c bis e, S. 18 und Litt. 121 nach § 94).

Fig. 156.
Drehzapfen der Drehbrücke am
Bassin de la Villette. M. 1 : 50.



Bei dem Entwurf einer 52,3 m langen, gleicharmigen Drehbrücke in Sidney schwimmt in dem hohlen, teilweise mit Wasser gefüllten Drehpfeiler von 12,5 m Durchmesser ein umgekehrter, ebenfalls hohler Konus aus Stahlblech, der beim Ausdrehen zum Schwimmen gebracht wird, so daß, von der Windwirkung abgesehen, beim Drehen bloß die Reibung zu überwinden bleibt (Fortschrittsheft Fig. 36, S. 30 und Litt. 103 nach § 94).

Über eine von den bisherigen ganz abweichende Ausgestaltung der Drehachse der Doppeldrehbrücke in Tarent, deren Bewegung durch Turbinen erfolgt, siehe Fortschrittsheft Fig. 59 b u. c, S. 47 und Litt. 70 nach § 94.

§ 78. Festigkeitsberechnung der Hauptquerträger und des Drehzapfens.

Bei Brücken, welche in der Hauptsache nur vom Drehzapfen gestützt werden, hat man es nicht mit der in § 76 (S. 172) erwähnten statischen Unbestimmtheit zu tun und es lassen sich hier die Hauptquerträger und die Zapfenträger genau berechnen.

Beispiel: Hohnstorfer Brücke (Textfig. 129 a u. f). Die beiden mittleren Querträger b von je 620 cm Länge tragen zwischen sich den 100 cm langen Zapfenträger a . Eigengewicht der Brücke 100,36 t. Vernachlässigt man der Sicherheit halber die Wirkung des Stützrades E , so ist bei offener Brücke das größte Biegemoment für b : $M = \frac{100,36}{4} \cdot \frac{620}{2} = 7777,9 \text{ tcm}$ und bei geschlossener und mit Betrieb belasteter Brücke das größte Biegemoment für a (da Zapfendruck = 96,29 t): $M = \frac{1}{4} 96,29 \cdot 100 = 2407,3 \text{ tcm}$. Da die größte Querkraft für a bei ausgeschwenkter Brücke: $Q = \frac{100,36}{2} = 50,18 \text{ t}$ beträgt, so berechnet sich für das 80 cm hohe Stehblech, bei 465 kg zulässiger Scherspannung, die Stärke d annähernd zu $\frac{50180}{80 \cdot 465} = 1,35 \text{ cm}$, wofür 2 cm genommen wurde.

Die auf die Flächeneinheit des Zapfenquerschnittes zuzulassende Pressung wird sehr verschieden angegeben. Während Shaler Smith nur 56 kg f. d. qcm anzunehmen empfiehlt (wegen des Wegschabens der Schmiere beim Drehen) findet man nach Clark Fischer bei sich gut bewährenden amerikanischen Brücken oft einen Zapfendruck von 492 kg/qcm. Bei den Drehbrücken nach Schwedler beträgt der Druck auf die Querschnittseinheit bei Gußstahlzapfen 672 kg bis 726 kg. (Bekanntlich ist auch auf die Form der Berührungsfäche zwischen Zapfen und Pfanne Rücksicht zu nehmen. Vergl. die Zusammenstellung der bezüglichen Formeln in Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1875, S. 291 und Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1886, S. 914). Bei den auch heute noch auseinandergelassenen Anschauungen über die zulässige Beanspruchung zweier sich berührender Kugel- oder Zylinderflächen mit gleichem oder verschiedenem Halbmesser lassen sich in dem hier zugemessenen Raum kurze, allgemein gültige Angaben nicht machen. Vergl. hierüber den Artikel von Weyrauch in Lueger, Lexikon der gesamten Technik, 2. Aufl. Bd. 1, S. 356 bis 359, mit vollständiger Litteraturangabe. — Für Königszapfen aus gehärtetem Gußstahl eingeschliffen in Spurfannen aus harter Phosphorbronze liefs bei großen neueren Ausführungen die Brückenbauanstalt Gustavsburg (M.-A.-G. Nürnberg) 300 kg/qcm Größtbeanspruchung zu.

Man wird also die zulässige Pressung verschieden wählen können, je nachdem man mehr Gewicht auf gute Schmierung (geringes Abnutzen) oder kleinen Reibungshebel legt. Bei langen aus dem Pfeiler herausragenden Drehzapfen (vergl. die holländischen Drehbrücken, Litt. 78 nach § 94) ist übrigens, falls große Pressungen zugelassen werden, auch auf die Knickfestigkeit des unten eingemauerten Drehzapfens Rücksicht zu nehmen. Streng genommen ist der Zapfen nicht nur für Druck, sondern auch für das beim Drehen der Brücke den Zapfen verwindende Reibungsmoment zu berechnen. Doch kommt man in den hier einschlägigen praktischen Fällen, bei Berücksichtigung der erwähnten Inanspruchnahme auf zusammengesetzte Festigkeit, auf keine wesentlich größeren Zapfenabmessungen, als die durch einfache Berechnung auf Druck sich ergebenden.

Bei Drehbrücken ohne jegliche Sicherheitslaufrollen gegen Kippen (Textfig. 118) wird der Zapfen durch Winddruck auf Biegung beansprucht. Ist der Winddruck = w auf die Einheit der getroffenen Überbaufläche F , ist ferner l die aus dem Pfeiler herausstehende Länge, und e der Hebelarm der Winddruck-Resultante bezüglich des Zapfenkopfes, so ist das Biegemoment an der Einspannstelle gleich $M = Fw(l - e)$. Ist außerdem die lotrechte Belastung des Zapfens = D und der Durchmesser = d , so hat man die Formel für die Beanspruchung σ auf zusammengesetzte Festigkeit:

$$\sigma = \frac{4D}{\pi d^2} + \frac{32Fw(l - e)}{\pi d^3} = \frac{1}{d^2} \left(1,27 D + 10,19 \frac{Fw(l - e)}{d} \right). \quad \dots \quad 54.$$

Beispiel. Zweiarmlige Drehbrücke: 50 m Gesamtlänge; Blechträger von 3,5 bis 1,5 m Höhe; $l = 3,2$ m; $e = 1,3$ m; $D = 180000$ kg; $w = 100$ kg f. d. qm. Wählt man $d = 40$ cm, so ergibt sich die größte Beanspruchung des schmiedeisernen Zapfens (ohne Rücksicht auf Stöße) zu

$$\sigma = \frac{1}{1600} \left[1,27 \cdot 180000 + 10,19 \frac{25(3,5 + 1,5)100(320 - 130)}{40} \right] = 580 \text{ kg f. d. qcm.}$$

(Oosterdoksluis, Amsterdam, 49,7 m lang: $d = 280$ bis 450 mm bei $l = 3,2$ m; Dordrechter Brücke 53,6 m lang: $d = 300$ bis 380 mm bei $l = 2,8$ m; Dordrechter Brücke 34,8 m lang: $d = 250$ bis 300 mm bei $l = 2,0$ m).

Zur Berechnung des auf den Zapfen sich stützenden Druckhauptes wird man bei einer größeren Anzahl Hängebolzen die Annahme zu machen sich gestatten, daß der Zapfendruck D gleichmäßig von sämtlichen Bolzen längs eines Kreisumfanges vom Halbmesser R übertragen wird (Textfig. 157). Da das Trägheitsmoment des gefährlichsten zylinderförmigen Schnittes = $\frac{1}{12} \cdot 2\pi r \cdot d^3$ beträgt, so hat man demnach, bei einer zulässigen Beanspruchung σ , zu setzen: $D(R - r) = \sigma \cdot \frac{1}{12} \frac{2\pi r \cdot d^3}{d}$ oder abgerundet:

$$d = \sqrt{\frac{D(R - r)}{\sigma r}} \quad \dots \quad 55.$$

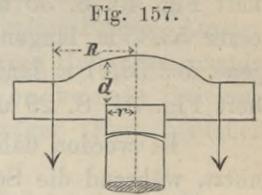


Fig. 157.

σ ist mit Rücksicht auf die gemachte Annahme einer gleichmäßigen Druckübertragung nicht zu groß (für Stahl etwa 1500 kg f. d. qcm) anzunehmen.

Bei einer geringeren Anzahl, z. B. nur $\nu = 4$ Hängebolzen (Textfig. 158) dürfte es sicherer sein, das Druckhaupt als aus zwei (beziehentlich mehr) sich durchschneidenden, vom Drehzapfen unterstützten Platten AB und CD anzusehen, deren Breite $b = 2r \sin \frac{\pi}{2\nu}$ ist. Auch wird man in diesem Falle das Biegemoment des Stützendruckes D für je eine Platte gleich $M = \frac{D}{\nu} \left(R - \frac{b}{2} \right)$ setzen.

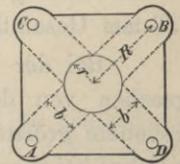


Fig. 158.

Beispiel. $\nu = 4$; $R = 70$ cm; $r = 17,5$ cm; $D = 180$ t; $b = 2 \cdot 17,5 \cdot \sin 45^\circ =$ rund 24 cm; $M = \frac{180}{4} \cdot (70 - 12) = 2610$ tcm. Bei einer zulässigen Inanspruchnahme von $\sigma = 1000$ kg f. d. qcm erhält man die erforderliche Stärke d des Druckhauptes aus $2610000 = \frac{1000}{6} \cdot 24^2 d^2$ zu $d =$ rd. 25 cm.

Übrigens ist zu berücksichtigen, daß das Druckhaupt, aufser der Biegebeanspruchung, noch eine direkte Pressung $\sigma_1 = \frac{D}{\pi r^2}$ auf die Flächeneinheit des sich andrückenden Stützlagers des Drehzapfens, und ferner, parallel zur Druckrichtung, eine Scherspannung $\tau = \frac{D}{2\pi r \cdot d}$ auf die Flächeneinheit des zylindrischen Schnittes $2\pi r \cdot d$ erfährt. Die infolge der gleichzeitigen Wirkung entstehende größte Hauptpressung hat bekanntlich den Wert

$$\sigma' = \frac{1}{2} (\sigma + \sigma_1) + \frac{1}{2} \sqrt{(\sigma - \sigma_1)^2 + 4\tau^2} \quad \dots \quad 56.$$

Für das oben berechnete Beispiel ist $\sigma = 1000 \text{ kg f. d. qcm}$; ferner $\sigma_1 = \frac{180000}{\pi \cdot (17,5)^2} = 187 \text{ kg f. d. qcm}$ und $\tau = \frac{180000}{2 \cdot \pi \cdot 17,5 \cdot 25} = 66 \text{ kg f. d. qcm}$.

Demnach erhält man $\sigma' = \frac{1}{2} 1187 + \frac{1}{2} \sqrt{813^2 + 4 \cdot 66^2} = 1005 \text{ kg f. d. qcm}$, also nur wenig größer als das gewählte σ . Der Unterschied kann jedoch auch bedeutender ausfallen, wenn man für σ_1 einen größeren Betrag zulässt.

IV. Einzelheiten der Konstruktion und Berechnung der Endauflagerung der Drehbrückenträger.

§ 79. Unrunde Scheiben oder auch Kurbelzapfen zur Hebung und zur Stützung findet man meist nur bei kleinen Drehbrücken. Ungenügende Stützfläche. Schwierigkeit, den Hub nach Maßgabe der Abnutzung zu regeln, wodurch Stöße beim Auffahren auf die Brücke entstehen. Hierdurch werden starke Achsen und Lager bedingt. Andererseits verursacht das Heben verhältnismäßig wenig Reibungsarbeit, besonders bei Anwendung von Reibungsrollen (Textfig. 133 u. 134, S. 139). Diese Anordnung findet man jedoch auch bei sehr großen amerikanischen Drehbrücken, z. B. bei der 134,1 m langen gleicharmigen Winona-Eisenbahn-Drehbrücke über den Mississippi; die Kurbel wird vom Drehfeiler aus durch ein Gestänge mit Kegelrädern beim Anheben der Brückenenden bewegt, womit zugleich die Hebung der Schienen in ihre Anschlussstellung mit den festen Gleissträngen selbsttätig verbunden ist (s. Fortschrittsheft Fig. 45, S. 35 und Litt. 92 nach § 94). Vergl. ferner die Endhebevorrichtung einer 53,35 m langen amerikanischen Blechträgerdrehbrücke (Textfig. 93 a u. c; sowie jene der 58,11 m langen und 12,19 m breiten Clarence-Brücke in England (Fortschrittsheft Fig. 34, S. 29 und Litt. 96 nach § 94).

Es werden daher meistens Kurbelzapfen mit Reibungsrollen nur zum Heben benutzt, während die Stützung selbst durch anderweitige Vorrichtungen bewirkt wird. So z. B. bei den Brücken nach Schwedler durch die Pendel π (Textfig. 129 u. 130), bei der Königshafen-Brücke, Rotterdam, durch Unterstützungsrollen (Taf. 11, Fig. 2 a u. d der Litt. 78 nach § 94), auf welche die Brücke niedergelassen wird, nachdem sie mittels eines gezahnten Kreisabschnittes durch Reibungsrollen in ihre höchste Stellung (33 mm Gesamthebung) gebracht worden war.

Bei der Konstruktion solcher Hebungsvorrichtungen für Drehbrücken sind, abgesehen von der Festigkeit, zwei Punkte von Belang: 1. die Reibungsarbeit bei gegebenem größten Drucke und gegebener größter Hebung; 2. das größte Drehmoment, welches bei dieser Hebung vorkommt. Von ersterer hängt die Arbeitszeit des gegebenen Motors, von letzterem die erforderliche größste Kraft des Motors ab.

Es möge ein Kurbelzapfen mit Reibungsrolle (Textfig. 159) betrachtet werden. Halbmesser der letzteren = R_2 ; desgl. ihres Drehzapfens $c = r_2$; Abstand zwischen Rollennachse c und Kurbelachse $b = R_1$; Zapfenhalbmesser der letzteren = r_1 . Heißt der ganze Winkel, um den b sich beim Heben der Brücke hebt, = φ_0 , so ist der entsprechende Drehwinkel der Reibungsrolle $\psi_0 = \frac{R_1}{R_2} \sin \varphi_0$. Beim Beginne der Hebung ist der Druck D der Trägerenden gleich Null, am Ende derselben erreicht er die Größe des vollen Stützdruckes D_1 . Im Mittel kann also $D = \frac{D_1}{2}$ gesetzt werden. Bezeichnet man ferner mit γ , μ_1 und μ_2 die betreffenden Reibungsbeiwerte, so ist:

die Arbeit zum Heben von $\frac{D_1}{2}$ auf die Höhe y_1 :

$$A_1 = \frac{D_1}{2} R_1 \cos \varphi_0,$$

die Arbeit der wälzenden Reibung an der Reibungsrolle:

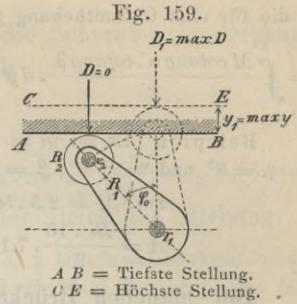
$$A_2 = \gamma \frac{D_1}{2} \cdot R_1 \sin \varphi_0,$$

die Arbeit der Zapfenreibung der Rollenachse:

$$A_3 = \mu_1 \sqrt{1 + \gamma^2} \cdot \frac{D_1}{2} \cdot \frac{r_2}{R_2} \cdot R_1 \sin \varphi_0,$$

die Arbeit der Zapfenreibung der Kurbelachse:

$$A_4 = \mu_2 \sqrt{(1 + \mu_1^2)(1 + \gamma^2)} \cdot \frac{D_1}{2} \cdot r_1 \varphi_0.$$



Die Gesamtreibungsarbeit $A = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$ nimmt also mit dem Wachsen des Rollenhalbmessers R_2 ab. Ferner ist auch leicht ersichtlich, daß mit dem Wachsen von R_2 , also mit der Verminderung von R_1 , das Drehmoment des Druckes D sich vermindert. Große Reibungsrollen sind also jedenfalls vorteilhaft.

§ 80. Keile. Die zum Heben und Stützen der Trägerenden angewandten Keile bewegen sich meist, und jedenfalls am zweckmäßigsten, parallel zur Brückenachse. [Mehrere Brücken in Antwerpen 18 m lang; Brücken der Keystone Company, Philadelphia; Passaic-Brücke bei Newark von 67,2 m Länge; von neueren Brücken: Greenpoint-Straßenbrücke in Textfig. 94 a u. b, S. 100 mit Rollen aus Hartgufsstahl; Polletdrehbrücke in Frankreich: Keilauflager am Ende des kurzen Armes; der untere Keil wird maschinell eingeschoben (Fortschrittsheft Fig. 58 h u. i, S. 45)].

Von denjenigen Brücken, bei welchen die zum Heben und Stützen dienenden Keile quer zur Brückenachse liegen, sind zu nennen die Kattenburgplein-Brücke, Amsterdam (Textfig. 119) und die Hunte-Brücke, Elsfleth (Textfig. 110), deren Hebungsmechanismus ganz so, wie in Textfig. 215 dargestellt, ausgeführt ist. Von neueren Brücken: Eisenbahndrehbrücke bei Washington, 55,47 m langer Blechträger (Fortschrittsheft Fig. 46 a u. b, S. 36 u. Litt. 113 nach § 94).

Ist α der Keilwinkel, ferner φ der Reibungswinkel sowohl zwischen Keil k und Trägerkissen n , als auch zwischen letzterem und dem Führungslager m (Textfig. 119), so ist für eine lotrechte Belastung D die erforderliche wagerechte Verschiebungskraft $P = D \tan(\alpha + 2\varphi)$. Hierin ist D proportional der Hebung $y = x \tan \alpha$, d. h. wenn C einen Festwert bedeutet, $D = Cy = Cx \tan \alpha$. Die für die Gesamthebung $y_1 = x_1 \tan \alpha$ zu leistende Arbeit ist demnach

$$A = \int_0^{y_1 \cot \alpha} P dx = \frac{Cy^2}{2} \cdot \frac{\tan(\alpha + 2\varphi)}{\tan \alpha} = \frac{D_1 y_1}{2} \cdot \frac{\tan(\alpha + 2\varphi)}{\tan \alpha} \dots \dots \dots 57.$$

Der kleinste Wert von A entsteht bei $\alpha = 45^\circ - \varphi$, doch ist dieser Winkel für Stützkeile nur dann brauchbar, wenn $\alpha < 2\varphi$ ist, weil sonst der Keil zurückweicht. Für $\tan \varphi = 0,08$, d. h. $\varphi = 4^\circ 30'$ würde man also $\alpha = 8^\circ$, d. h. den Keilanzug etwa $\frac{1}{7}$ nehmen können.

Beispiel. Es sei $y_1 = 10 \text{ cm}$; $\max D = D_1 \text{ kg}$; $\alpha = 8^\circ$; $\tan \varphi = 0,08$. Bei guter Schmierung erhält man nach obigem $\max P = D_1 \tan(8^\circ + 9^\circ) = 0,306 D_1 \text{ kg}$ und die Gesamtarbeit

$$A = \frac{D_1 \cdot 10}{2} \cdot \frac{\tan 17^\circ}{\tan 8^\circ} = 10,85 D_1 \text{ cmkg}.$$

Bei schlechter Schmierung für $\tan \varphi = 0,14$ wird $A = 15,80 D_1 \text{ cmkg}$.

Bei der Keilvorrichtung der Hunte-Brücke (Textfig. 110) werden die Stahlkeile aa (Textfig. 215) durch die entgegengesetzten Schraubengewinde der Spindel b gleichzeitig gehoben oder gesenkt (die Spindel b ist bei g , s. Textfig. 215, wegen ihrer Vertikalbewegung mittels eines Universalgelenkes mit der Vorgelegswelle verbunden). Bezeichnet hier α den Keilwinkel, φ den Reibungswinkel an den Keilflächen, φ_1 desgl. für die Schraube, r den mittleren Schraubenhalmmesser, β den Steigungswinkel der Schraube, so ist das bei einer der Hebung y proportionalen Last $D = Cy$ an der Schraubenspindel anzubringende Drehmoment:

$$M = Dr \tan(\beta + \varphi_1) [\tan(\alpha + \varphi) + \tan \varphi] \dots \dots \dots 58.$$

und die für eine Gesamthebung y_1 erforderliche Arbeit:

$$A = \int_0^{y_1} \frac{M \cotang \alpha \cdot \cotang \beta}{r} \cdot dy = \frac{C y_1^2}{2} \cotang \alpha \cdot \cotang \beta \tan(\beta + \varphi_1) [\tan(\alpha + \varphi) + \tan \varphi] \quad . . \quad 59.$$

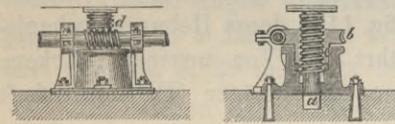
Beispiel. Es sei $y_1 = 10$ cm; $max D = C y_1 = D_1$ kg; $\alpha = 8^\circ$; $\tan \varphi = 0,14$; $\tan \varphi_1 = 0,10$, d. h. $\varphi = 8^\circ$ und $\varphi_1 = 6^\circ$; $\beta = 4^\circ$; $r = 2,5$ cm erhält man:

$$max M = 2,5 \cdot \tan 12^\circ (\tan 16^\circ + \tan 8^\circ) D_1 = 0,23 D_1 \text{ cmkg, und}$$

$$A = \frac{D_1 \cdot 10}{2} \cdot 7,115 \cdot 14,300 \cdot 0,213 \cdot 0,427 = 46,33 D_1 \text{ cmkg.}$$

Bei manchen Brücken werden die Keile ausschliesslich zum Stützen benutzt. Dies ist z. B. bei der 112,8 m langen, gleicharmigen, eingleisigen Ohio-Brücke der Cincinnati-Southern Bahn bei Cincinnati der Fall. Auf beiden Seiten des unteren Gurtendes eines jeden Trägers, fest verbunden mit demselben, sind zwei kleinere Druckwasserzylinder angebracht, deren Kolben durch Gegengewichte hochgehalten werden und erst durch vom Mittelpfeiler zugeleitetes Druckwasser nach unten gedrückt werden, wodurch die Trägerenden bis zur erforderlichen Höhe gehoben werden können. Hierauf werden die Stützkeile, ebenfalls vom Mittelpfeiler aus, mittels Hebelstangen vorgeschoben. Eine umständliche, nicht empfehlenswerte Anordnung.

§ 81. Schraubenwinden. Textfig. 160 zeigt eine häufig angewandte Anordnung. Die lotrechte Schraubenspindel steckt mit dem unteren, im Querschnitte quadratischen Teile a in einer entsprechenden Hülse. Die Hebung der Spindel wird durch Drehung der Bronzemutter c bewirkt. Zu diesem Zwecke erhält das mit c zusammenhängende Schraubenrad b seine Bewegung von der Schraubewelle d .



Oft werden die an beiden Brückenenden befindlichen Schraubenspindeln von der Brückenmitte aus gehandhabt (Textfig. 86 a u. b, S. 91 u. Textfig. 102), während bei ungleicharmigen Brücken der Antrieb des Bewegungsmechanismus und der Endhebschrauben auch von einem am Ende des kurzen Brückenarmes aufgestellten Motor erfolgt (Textfig. 195). Andere, gut bewährte Ausgestaltungen zeigen: die Drehbrücke in Harburg (Textfig. 195), Schrauben mit einem Gewinde, sowie die Industriehafenbrücke Mannheim (Taf. II, Fig. 9, 10 u. 12) und die Herrenbrücke Lübeck (Textfig. 208 u. Taf. III, Fig. 15), Schrauben mit rechtem und linkem Gewinde. Der Spindelfufs stützt sich hierbei auf eine feste Leitrolle. Die grundsätzlich gleiche Anordnung, blofs Hubschraube unten und Leit- und Stützrolle oben, zeigt die Fußgänger-drehbrücke Reiherstieg (Taf. II, Fig. 6 bis 8) in besonders deutlicher, keiner näheren Erläuterung mehr erfordernden Weise.

Es bezeichnen: d den äußeren Gewinde(Bolzen)durchmesser, d_1 den Kerndurchmesser, μ die Anzahl der tragenden Gänge, σ die zulässige Beanspruchung und D die Last der Spindel, so muß sein

$$D \leq \mu \cdot \frac{1}{4} \pi (d^2 - d_1^2) \sigma \quad \quad 60.$$

Für flachgängige Schrauben kann $d_1 = 0,8d$, also die Gangtiefe $t = 0,1d$, ferner für Schmiedeeisen auf Schmiedeeisen oder Bronze $\sigma \leq 80$ kg/qcm und für Flufsstahl auf Flufsstahl oder Bronze höchstens $\sigma = 100$ kg/qcm gesetzt werden, so daß

$$d = \sqrt{\frac{4D}{1,13 \cdot \mu \cdot \sigma}} \quad \quad 61.$$

wird. Hiernach berechnet man d und prüft nun, ob auch die Schraube für Drehungsbeanspruchung genügt. Das Drehmoment ist gegeben durch

$$M = Qr \frac{h + 2\pi r\mu}{2\pi r - \mu h} \dots \dots \dots 62.$$

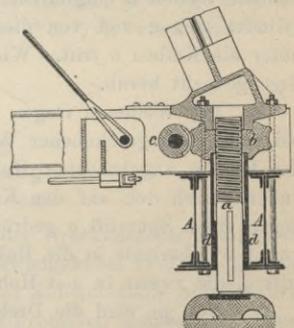
Hierin bedeutet $r = \frac{1}{4}(d + d_1)$, $h = 2r\pi \tan\alpha$, wenn α der Steigungswinkel der mittleren Schraubenlinie ist, und ρ den Reibungswert der gleitenden Reibung.

Beispiel. Die flußstählerne, flachgängige Spindel habe $D = 35 \text{ t}$ Druck aufzunehmen und die Knickung komme nicht in Frage. Der Reibungswert sei $\rho = 0,10$ und die Zahl der tragenden Gänge der dreigängigen Schraube $\mu = 14$. Gl. 61 liefert: $d = \sqrt{\frac{140000}{1,13 \cdot 14 \cdot 100}} = 9,4$ oder rund $10,0 \text{ cm}$. Für $r = \frac{1}{4}(10 + 8) = 4,5 \text{ cm}$ und $h = 5,0 \text{ cm}$ wird $M = 35000 \cdot 4,5 \frac{5,0 + 2\pi \cdot 4,5 \cdot 0,1}{2\pi \cdot 4,5 - 0,1 \cdot 5,0} \cong 44800 \text{ cmkg}$. Mithin wird Drehungsbeanspruchung des Kernquerschnittes $\delta_{\max} = \frac{44800 \cdot 16}{\pi \cdot 8^3} = 445 \text{ kg/qcm}$ und die Druckbeanspruchung: $\sigma_d = \frac{35000 \cdot 4}{\pi \cdot 8^2} = 696 \text{ kg/qcm}$; somit die größte Hauptspannung für $\alpha_0 = \frac{1000}{1,3 \cdot 800} \cong 1$
 $\sigma = 0,35 \sigma_d + 0,65 \sqrt{\sigma_d^2 + 4 \cdot (\alpha_0 \cdot \delta)^2} = 0,35 \cdot 696 + 0,65 \sqrt{696^2 + 4 \cdot 445^2} = 979 \text{ kg/qcm}$.

Bei vorzüglichem Baustoff kann $\sigma = 1000 \text{ kg/qcm}$, $\sigma_d = 800 \text{ kg/qcm}$ und $\alpha_0 = \frac{\sigma}{1,3 \sigma_d}$ gesetzt werden. Die zulässige Spannung wird also nicht überschritten. Besteht die Mutter aus guter Bronze, so soll an der Berührungsfläche der Druck $\sigma < \frac{1}{2} 200 < 100 \text{ kg/qcm}$ sein. Mithin liefert Gl. 60 als Mindestzahl der tragenden Gewindegänge: $\mu = \frac{4 \cdot 35000}{\pi \cdot 0,36 \cdot 100 \cdot 100} \cong 13$. Die erforderliche Mutterhöhe h_1 beträgt schließlich $h_1 = \frac{13 \cdot 5}{3} \cong 22 \text{ cm}$.

Antriebskraft der Hubspindel (Textfig. 160 u. 161). Ist $D = \text{Last auf der Spindel}$; $\eta = \text{Steigungsverhältnis der Spindelschraube}$; $r = \text{mittlerer Halbmesser derselben}$; $R = \text{mittlerer Halbmesser des Schraubenrades } b$; $r' = \text{Halbmesser des Halszapfens } c$ (Textfig. 160) am Schraubenrade; r'' der mittlere Halbmesser der ringförmigen Bodenfläche, mit welcher c auf den eingelegten Stahlring drückt; μ der Reibungswert der Schrauben- gewinde und für das Gleiten des viereckigen Stückes a ; μ' desgleichen für den Halszapfen c und für seine ringförmige Bodenfläche, so ist die zum Heben der Last $D = Cy$ am Teilkreise des Schraubenrades b anzubringende Kraft

Fig. 161. American Bridge Co.



$$P = \frac{rD}{R - \mu' r'} \left(\frac{\eta + \mu}{1 - \mu(2\eta + \mu)} + \frac{\mu' r''}{r} \right) \dots \dots \dots 63.$$

und die Reibungs- und Hebungsarbeit bis $y = y_1$:

$$A = \int_0^{y_1} \frac{PR}{\eta r} dy = \frac{D_1 R y_1}{2\eta (R - \mu' r')} \left(\frac{\eta + \mu}{1 - \mu(2\eta + \mu)} + \frac{\mu' r''}{r} \right) \dots \dots \dots 64.$$

Beispiel. Es sei (Textfig. 161) die Hubhöhe $y_1 = 10 \text{ cm}$; $\max D = Cy_1 = D_1 \text{ kg}$; $\eta = 0,067$; $r = 5 \text{ cm}$; $r' = 8 \text{ cm}$; $r'' = 6,5 \text{ cm}$; $\mu = 0,1$; $\mu' = 0,08$; $R = 15 \text{ cm}$; dann wird:

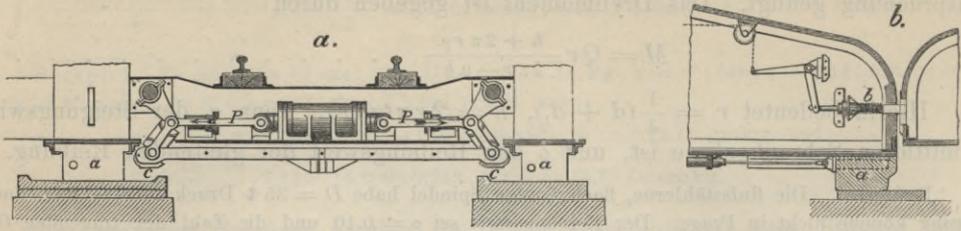
$$\max P = \frac{5 D_1}{15 - 0,08 \cdot 8} \left(\frac{0,067 + 0,1}{1 - 0,1(0,134 + 0,1)} + \frac{0,08 \cdot 6,5}{5} \right) = 0,094 D_1 \text{ kg} \text{ und}$$

$$A = \frac{D_1 \cdot 15 \cdot 10}{2 \cdot 0,067(15 - 0,08 \cdot 8)} \left(\frac{0,067 + 0,1}{1 - 0,1(0,134 + 0,1)} + \frac{0,08 \cdot 6,5}{2} \right) = 21,4 D_1 \text{ cmkg}.$$

Für $D_1 = 35,0 \text{ t}$ sind mithin $= \frac{35000 \cdot 21,4}{75 \cdot 100} = 10$ Pferdekkräfte erforderlich.

§ 82. Kniehebel. Die Anhubvorrichtung befindet sich entweder auf dem Mauerwerke des Pfeilers (Drehbrücke: Kanal de l'Ourcq, Litt. 34 nach § 94) oder sie ist an dem beweglichen Überbau selbst angebracht (Drehbrücke Ludwigshafen, Textfig. 210 bei Punkt (13), vergl. Fortschrittsheft Fig. 22 d u. e, S. 20).

Fig. 162. Anhub- und Verriegelungsvorrichtung der Ouse-Brücke bei Goole. M. 1 : 66,7.



Bei der Ouse-Brücke bei Goole (Textfig. 162) dienen die durch Wasserdruck bewegten Kniehebel nur zum Heben, während die Stützung mittels der ebenfalls durch Wasserdruck vorgeschobenen Gufseisenklötze *a* erfolgt.

Auch bei der Niederbaum-Brücke in Hamburg (Textfig. 130) erfolgt das Heben der vier Hauptträgerenden, nach dem Einschwenken mittels Kniehebel. Hierauf werden die Pendellager untergeschwenkt (Textfig. 90, S. 96) und die Brückenenden auf diese, welche der geschlossenen Brücke gestatten, den Längenänderungen infolge der Wärmeänderung frei zu folgen, um 2 mm wieder gesenkt. Die Bewegung der Kniehebel erfolgt durch Wasserkraft, da bei gleichzeitigem Abheben beider Brückenenden ein Druck von mindestens 140 t auszuüben ist.

Zu diesem Zwecke wird durch den Druckwasserkolben *h* (Textfig. 130 b, S. 132) die Welle *g* nach rechts verschoben (vergl. die Beschreibung der Drehvorrichtung der Niederbaum-Brücke S. 123 u. 130). Der Hohlkegel des von einem Schmidt'schen Wassermotor mittels des Rades *d*₁ (Textfig. 130) getriebenen Rades *a* kommt dann außer Berührung mit dem Reibungskegel der Hohlwelle *i* (welche zum Drehmechanismus der Brücke gehört), und drückt sich nunmehr an den Reibungskegel der Hohlwelle *k* an. Auf dieser letzteren Welle sitzt das Stirnrad *k*₁, welches in das Stirnrad *m*₁ einer Welle *m* eingreift. An den Enden dieser Welle befinden sich die Kegelräder *m*₂, welche in die Kegelräder *n*₂ der lotrechten Wellen *n* eingreifen, die mit ihren Fußzapfen auf den Plungerkolben *o* kleiner Druckwasserzylinder stehen und von diesen um etwa 10 cm in die Höhe geschoben werden, wenn Druckwasser unter die Kolben *o* tritt. Wird das Druckwasser abgelassen, so sinken diese mit den Wellen durch ihr Eigengewicht herab.

Die Wellen *n* tragen an ihren oberen Enden kegelförmige Reibungsscheiben *m*₁, von denen eine, bei nach oben geschobener Welle *n* und wenn die Drehbrücke richtig eingeschwenkt ist, in einen unter der Brücke angebrachten Hohlkegel *p*₁ paßt und bei ihrer Drehung diesen mitnimmt, während die andere durch den auf den Kolben *o* wirkenden Wasserdruck, nur zur Erhaltung des Gleichgewichtes, gegen einen Spurstift *q* gedrückt wird, sich also leer dreht. Wird die Drehbrücke nach einer Drehung von 180° abermals in die Ruhelage eingeschwenkt, so wird die erste Reibungsscheibe *m* gegen Spurstift *q*, die zweite in den Hohlkegel *p*₁ gedrückt werden.

Von *p*₁ wird die Drehung durch die Räder *r*₁, *r*₂, *t*₁ u. s. w. schliesslich auf die Mutterspindel *t* übertragen (Textfig. 130), welche mit Rechts- und Linksgewinde versehen nach beiden Brückenenden zu die Stangen *s* hinaus oder herein schiebt, je nachdem sie sich rechts oder links dreht, was durch den Wassersteuerhebel *e*, oben auf der Brücke, mittels Rechts- oder Linkslaufen der Motoren bewerkstelligt wird.

Die Stangen *s* drehen mittels Kurbel *u*₁ (Textfig. 130) die Kniehebel. Dieselben sind aus einer grossen Zahl ineinander greifender, 9 mm starker Stahlplatten gebildet, bei welcher Konstruktion es möglich wurde, die Durchmesser der verschiedenen Gelenkbolzen des Kniehebels, zu Gunsten einer Ermäßigung der Reibung, auf 30 mm herabzumindern. *w* ist ein über Brückenhöhe vorragendes Gegengewicht, welches dazu dient, die ungleichmässigen Kraftaufwendungen, welche die Bewegung der Kniehebel erfordert, auszugleichen.

Berechnung von Anhubvorrichtungen mit Kniehebeln. Es bezeichne (Textfig. 163): *a* die Länge jedes der beiden Knieschenkel; *r* den Halbmesser der drei Gelenkzapfen in *A*, *B* und *C*; *c* die Strecke *AC* beim tiefsten Stande; μ den Zapfenreibungsbeiwert; $D = Cy = C(2a \cos \alpha - c)$ die proportional *y* zu nehmende Belastung; so ist:

$$P = 2C(2a \cos \alpha - c) \tan(\alpha + \delta), \dots \dots \dots 65.$$

worin zur Abkürzung $\arctang \frac{2r}{a} \mu = \delta$ gesetzt worden ist.

Die von P geleistete Arbeit wird man am besten durch Flächenberechnung finden, indem man die P als Ordinaten und die zugehörigen Wege als Abszissen aufträgt.

Beispiel. $y_1 = 10 \text{ cm}$; $\max D = C y_1 = D_1 \text{ kg}$;
also $C = \frac{D_1}{y_1} = 0,1 D_1$; $a = 25 \text{ cm}$; $c = 2 \cdot 25$

$- 10 = 40 \text{ cm}$; $r = 3 \text{ cm}$; $\mu = 0,1$; also $\tan \frac{2r}{a} \mu = 0,024$, hieraus folgt $\delta = 1^\circ 22'$. Man erhält $P = 0,2 (50 \cos \alpha - 40) \tan (\alpha + 1^\circ 22') D_1 \text{ kg}$. Hiernach berechnet sich z. B.:

für $\alpha = 14^\circ$	18°	22°	23°	24°	26°
$P = 0,468$	$0,529$	$0,548$	$0,548$	$0,540$	$0,512 \cdot D_1$

Das $\max P = 0,548 D_1 \text{ kg}$ tritt also für $\alpha = 23^\circ$ ein.

Wird dagegen der Kniehebel wie in Textfig. 163 durch Drehung der oberen Welle d bewegt, so mögen die Schenkellängen a und b , die Zapfenhalbmesser r, r_1 und r_2 , der Zapfenreibungsbeiwert μ , der Reibungswinkel des unteren Gelenkes am Führungsbacken φ , die Winkel, die die beiden Schenkel mit der Lotrechten einschließen, α und β heißen, während c die frühere Bedeutung behält. Dann ist das bei einer Belastung $D = C y = C(a \cos \alpha + b \cos \beta - c)$ erforderliche Drehmoment an der Welle d :

$$M = \frac{\cos \varphi \cdot \sin (\alpha + \beta + \delta_1 + \delta_2)}{\cos (\beta + \varphi + \delta_2)} \cdot D a \dots \dots \dots 66.$$

Hierin ist $\delta_1 = \arctang \frac{r+r_1}{a} \mu$; $\delta_2 = \arctang \frac{r_1+r_2}{a} \mu$; ferner gilt noch die Beziehung:

$$\beta = \arcsin \left(\frac{a \sin \alpha}{b} \right).$$

Die Berechnung der erforderlichen Arbeit erfolgt auch hier am besten durch Flächenbestimmung.

Beispiel. Gesamthebung $y_1 = 10 \text{ cm}$; $\max D = C y_1 = D_1 \text{ kg}$; also $C = 0,1 D_1$; $a = 16 \text{ cm}$; $b = 28 \text{ cm}$; $c = 16 + 28 - 10 = 34 \text{ cm}$; $r = 5,5 \text{ cm}$; $r_1 = 1,5 \text{ cm}$; $r_2 = 1,5 \text{ cm}$; $\mu = 0,1$; $\varphi = 6^\circ$. Zunächst erhält man $\beta = \arcsin (0,571 \sin \alpha)$; ferner $\delta_1 = \arctang 0,0438 = 2^\circ 30'$; $\delta_2 = \arctang 0,0189 = 1^\circ 7'$. Hiernach wird:

für $\alpha = 25^\circ$	28°	30°	32°	35°
$\beta = 13^\circ 55'$	$15^\circ 30'$	$16^\circ 33'$	$17^\circ 35'$	$19^\circ 3'$
$D = 0,766$	$0,712$	$0,671$	$0,625$	$0,556 D_1 \text{ kg}$
$M = 0,833$	$0,892$	$0,895$	$0,857$	$0,822 D_1 \text{ cmkg}$.

Das Größtdrehmoment von $0,895 D_1 \text{ cmkg}$ findet also bei $\alpha = 30^\circ$ statt.

Die Größe des für die möglichst vollkommene Ausbalancierung der Brückenden günstigsten Gegengewichtes (z. B. w in Textfig. 130 d), ferner die Stellung der Gegengewichtshebel in Bezug auf die Kniehebelstellung, sowie schließlich die in den verschiedenen Stellungen der Kniehebelteile auftretenden Reibungswiderstände werden wohl am besten auf graphischem Wege durch Probieren festgestellt. Hierbei wird man durch Antragen des Reibungswinkels in den Detailzeichnungen für die einzelnen aufeinanderfolgenden Stellungen der Kniehebelbestandteile die bezüglichen Druckpunkte (Berührungspunkte) der Zapfen gegen die umschließenden Augen graphisch konstruieren und dann diese Punkte als die ideellen Angriffspunkte (Stützpunkte) in dem zugehörigen geometrischen Zusammenhang des Kniehebel-systems betrachten.

§ 83. Druckwasserpresen dienen zum Heben, während das Stützen der Träger im eingedrehten Zustand durch besondere Lager (Nord-Ostsee-Kanalbrücken, § 84), Keile oder Klötze (Pollet-Drehbrücke, Litt. 93 nach § 94) erfolgt.

Ist der Wasserdruck f. d. $q \text{ cm} = p$, der Kolbdurchmesser $= d$, die Breite der Liderung $= b$, Reibungsbeiwert $= \mu$, so ist zur Überwindung der Last D eine Kraft von $P = D + \mu \pi d b \cdot p$ erforderlich. Da nun aber $P = \frac{\pi d^2}{4} p$ beträgt, so folgt als nötiger Wasserdruck:

$$p = \frac{4 D}{\pi d (d - 4 \mu b)}. \text{ Für } \mu \text{ kann } 0,25 \text{ gesetzt werden.}$$

Fig. 163.

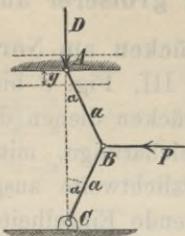
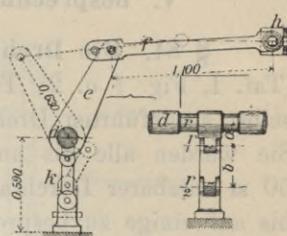


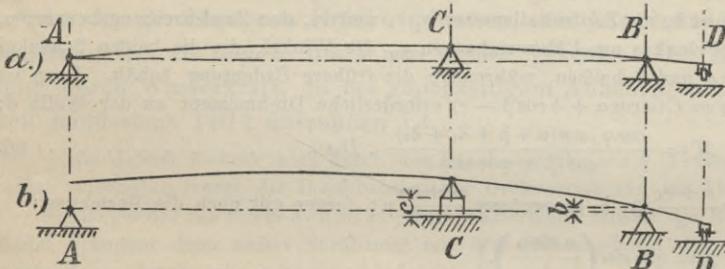
Fig. 163 a.



V. Besprechung größerer ausgeführter Drehbrückenanlagen.

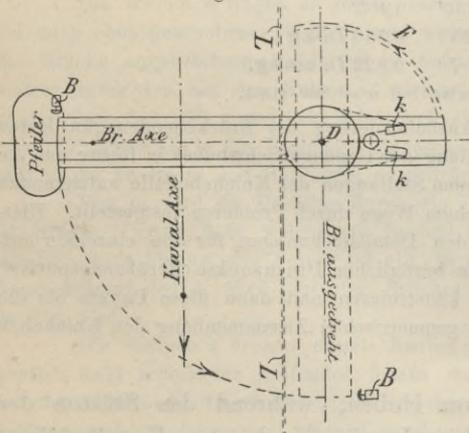
§ 84. Die Drehbrücken am Nord-Ostsee-Kanal (Kaiser Wilhelm-Kanal) (Taf. I, Fig. 1 u. 2; Taf. III, Fig. 8 bis 10; Textfig. 164 bis 187). Von den 4 selbst ausgeführten Drehbrücken dienen drei dem Bahn- und eine dem Strafsenverkehr. Sie wurden alle als ungleicharmige, mittels Druckwasser bewegte Drehbrücken von 50 m nutzbarer Durchfahrtslichtweite ausgeführt, wobei deren allgemeine Anordnung bis auf einige zu besprechende Einzelheiten übereinstimmt. — Die Strafsendrehbrücke (bei Rendsburg, Fig. 179, S. 192) soll für gewöhnlich geschlossen, die 3 Eisenbahnbrücken dagegen regelmäfsig geöffnet bleiben und nur kurz vor der Überfahrt eines Zuges geschlossen werden. Die Strafsendrehbrücke und die Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl kreuzen den Kanal rechtwinklig (Taf. III, Fig. 9 und Textfig. 185, S. 198), die beiden Osterröfelder Eisenbahnbrücken unter einem Winkel von 70° (Taf. I, Fig. 2 und Textfig. 167, S. 185).

Fig. 164.



und Textfig. 179 a, S. 192) ausgebildet worden, deren langer Arm AC (Textfig. 179) die Schiffsfahrtsöffnung überspannt, während der kurze Arm CB , an den sich das vorkragende Fach BD schliesst, als Gegengewicht beim Aufdrehen zu dienen hat und deshalb die Ballastkasten G trägt. Der kurze Arm ist, um das Drehen der Brücke bei starker

Fig. 165.



Windwirkung zu erleichtern, verhältnismäfsig lang und überdies mit einer Windschürze aus Wellblech (Textfig. 179 b, S. 192) ausgerüstet. Im geschlossenen Zustand ruht der Träger auf den beiden Endlagern A und B (vergl. Textfig. 164) und dem festen Auflager C über dem Mittelpfeiler, wobei der Kolben (Textfig. 183, S. 195) der Hebepresse unbelastet bleibt und die Laufräder D (Textfig. 178, S. 190 und Textfig. 182, S. 194) frei schweben. Während des Aufdrehens ruht die Brücke blofs noch auf dem Drehzapfen C (Textfig. 179 a, S. 192), nämlich dem Kolben der Hebepresse und dem am kurzen Armende befindlichen Laufrad D , das stark genug belastet ist, um ein Kippen der Brücke durch Windwirkung, bzw. Schneebelastung zu verhindern. Um in kürzester Zeit, auch bei Sturm, das Öffnen und Schliesen der Brücke zu ermöglichen, ist Druckwasserbetrieb mit verhältnismäfsig schwachen Maschinen unter Zuhilfenahme von Kraftsammlern, die für kurze Zeit eine sehr bedeutende Arbeitsleistung betätigen können, eingerichtet. — Das Druckwasser wird zwar für jede der 4 Brücken in eigenen Pumpen-

— Alle 4 Brücken weisen nachstehende übereinstimmende oder wenigstens sehr ähnliche Anordnungen auf: Die Hauptträger sind als ungleicharmige Fachwerke mit einfachem Dreiecksausfüllsystem (Taf. I, Fig. 1; Taf. III, Fig. 8

und Textfig. 179 a, S. 192) ausgebildet worden, deren langer Arm AC (Textfig. 179) die Schiffsfahrtsöffnung überspannt, während der kurze Arm CB , an den sich das vorkragende Fach BD schliesst, als Gegengewicht beim Aufdrehen zu dienen hat und deshalb die Ballastkasten G trägt. Der kurze Arm ist, um das Drehen der Brücke bei starker

Fig. 168 a bis d. Eisenbahnbrücke bei Osterrönnfeld.
 Auflager des langen Brückenarmes (ausgeschwenkt), M. 1 : 300.

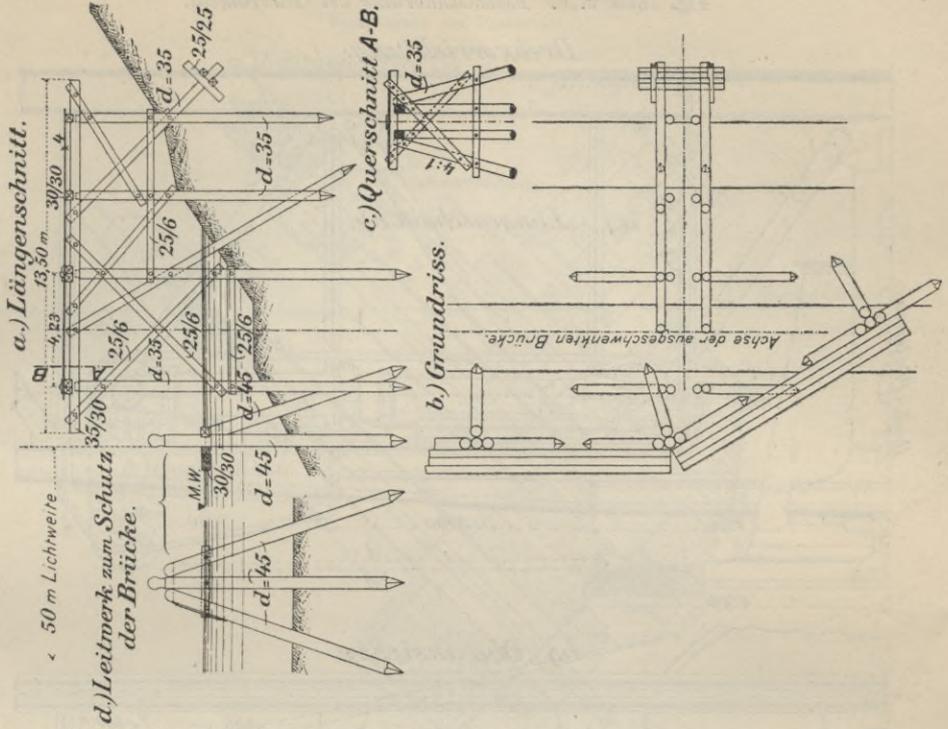


Fig. 166, M. 1 : 60.
 a.) Oberansicht.

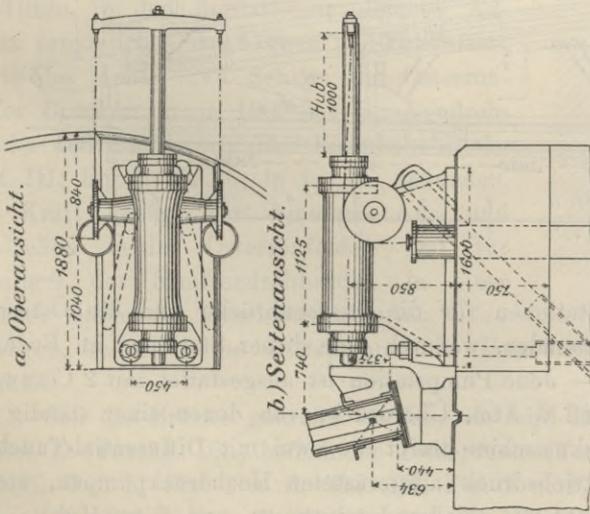


Fig. 167. Eisenbahnbrücke bei Osterrönnfeld.
 Lageplan des Leitwerkes, M. 1 : 1500.

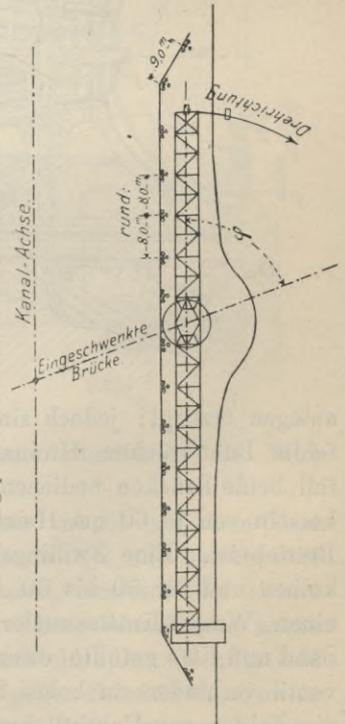
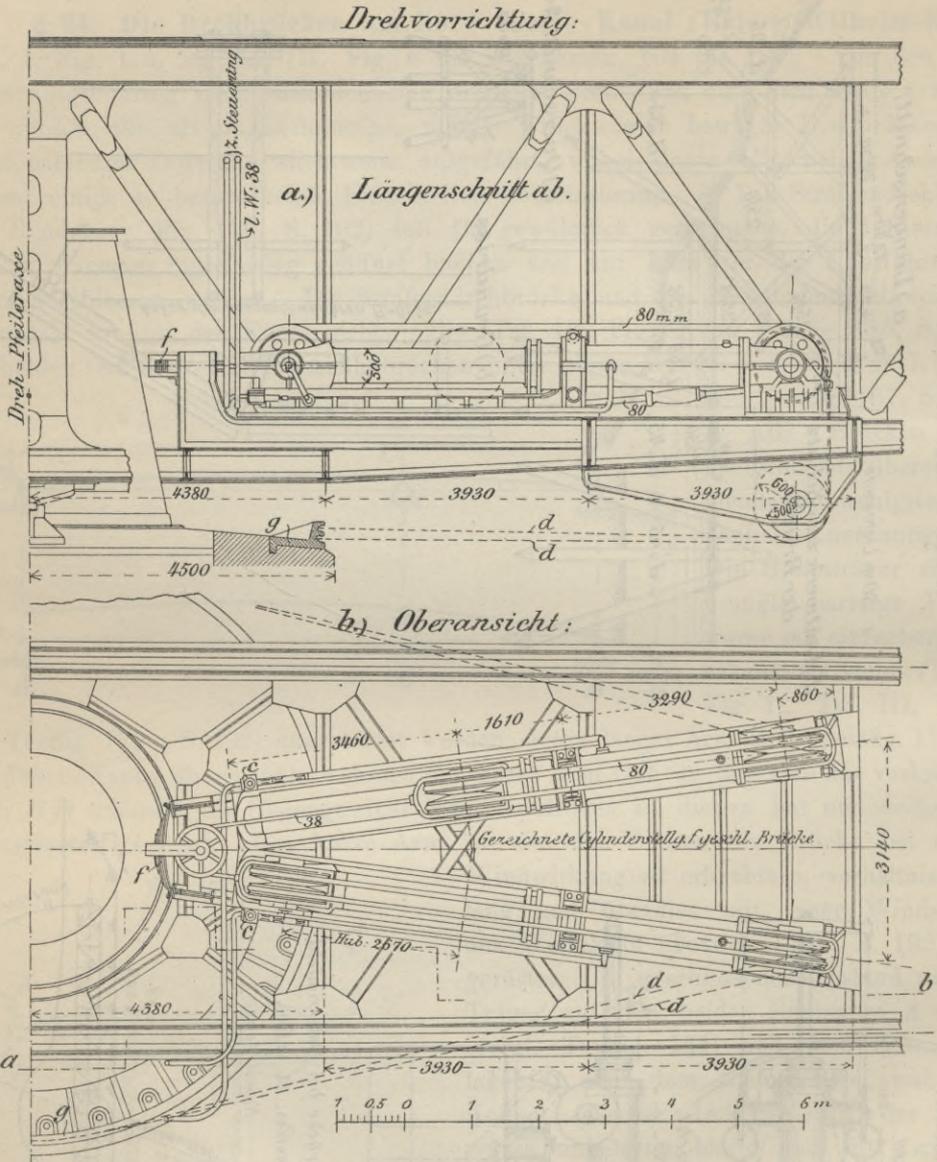


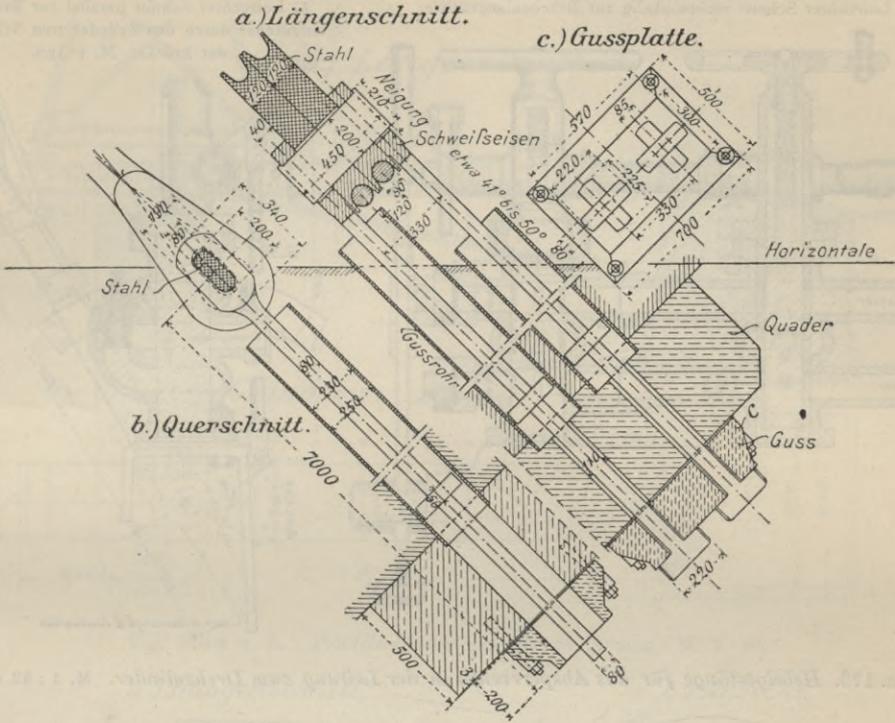
Fig. 169 a u. b. Eisenbahnbrücke bei Osterrönfeld.



anlagen erzeugt; jedoch sind die Stationen für die Strafenbrücke und die Österrönfelder Bahnbrücken miteinander verbunden, wodurch jede dieser Stationen im Bedarfsfall beide Brücken bedienen kann. — Jede Pumpstation ist ausgestattet mit 2 Cornwellkesseln von je 60 qm Heizfläche und 6 Atm. Überdruck, von denen einer ständig im Betrieb ist. Eine Zwillingshochdruckmaschine treibt die zwei mit Differential-Taucherkolben und für 50 bis 60 Atm. Betriebsdruck ausgerüsteten Hochdruckpumpen, sowie einen Wasser-Kraftsammler von 600 mm Kolbendurchmesser und 6 m Hub. Mit Sand und Kies gefüllte eiserne Behälter bilden die Gewichtsbelastung. Ein Sicherheitsventil verhindert zu hohes Steigen der Last; ein selbsttätiges Bremsventil sichert gegen die Folgen von Rohrbrüchen und eine mit dem Expansionschieber der Dampfmaschine

Fig. 170 a bis d. Eisenbahnbrücke bei Osterröfnfeld. M. 1 : 30.

Verankerung der Drahtseile.



verbundene Druckwasser-Umsteuerung bewirkt selbsttätiges Anlaufen der Maschine, sobald die Last 1,3 m gesunken, sowie das Abstellen bei voller Höhe.

Diese in den 3 Stationen gleichen Anlagen ermöglichen das Öffnen und Schließen, sowie das Heben und Senken der Osterröfnfelder Brücken in je 120, der Strafsendrehbrücke und der Taterpfahler Eisenbahnbrücke (Taf. III, Fig. 8 bis 10) in je 130 Sekunden. Die Kraft genügt für 4maliges Aus- und Eindrehen beider Osterröfnfelder und für 6maliges der Strafsendrehbrücke in einer Stunde. Sollte der Druckwasserbetrieb völlig versagen, so tritt eine Hilfspumpe mit Petroleummotor und Handbetrieb in Wirksamkeit.

Soll die Brücke gedreht werden, so wird Druckwasser in die auf dem Drehpfeiler *D* (Textfig. 165) befindliche Hebepresse (Textfig. 179a, S. 192 und Textfig. 183, S. 195, Taf. I, Fig. 1 u. 2, Taf. III, Fig. 8 u. 9) eingelassen, wodurch der lotrecht bewegliche Hebekolben die Brücke anhebt, die infolge des Übergewichtes des kurzen Trägerarmes um den am Kopfe des Kolbens angebrachten Stahlzapfen (Textfig. 183, S. 195) kippt, dessen große Breite die nötige Standsicherheit gegen Seitenkräfte gewährleistet. Ist der Kolben der Hebepresse um beiläufig 98 mm (bei den verschiedenen

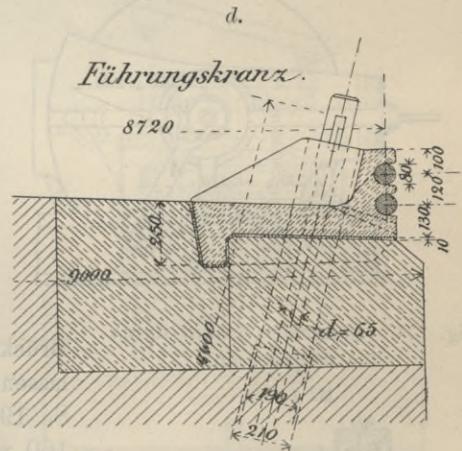


Fig. 171 a u. b. Eisenbahnbrücke bei Osterröfnfeld. Steuervorrichtung des Hebezylinders und des Zylinders zum Schließen der Brücke.

a) Lotrechter Schnitt rechtwinkelig zur Brückenlängsachse.

b) Lotrechter Schnitt parallel zur Brückenlängsachse durch den Zylinder zum Schließen der Brücke. M. 1:12,5.

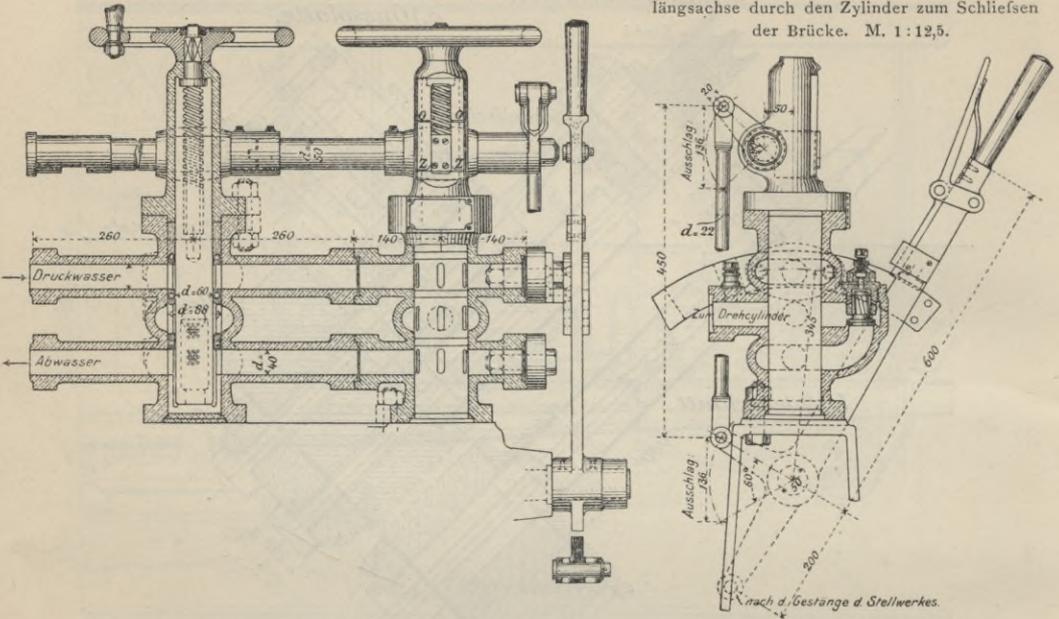


Fig. 172 u. 173. Hebelgestänge für das Absperrventil in der Leitung zum Drehzylinder. M. 1:32 u. 1:10.

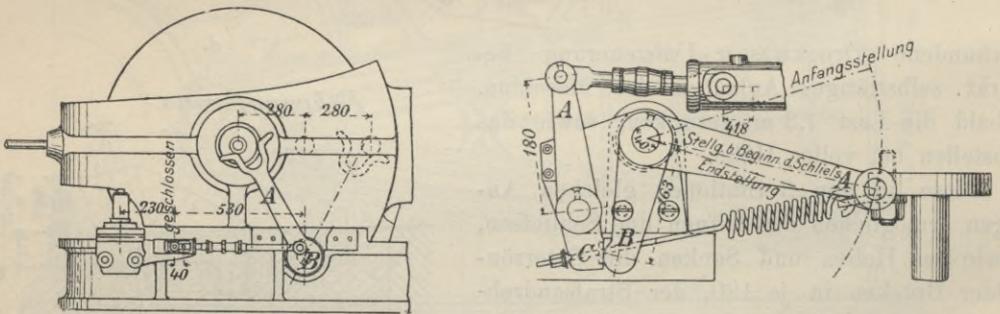
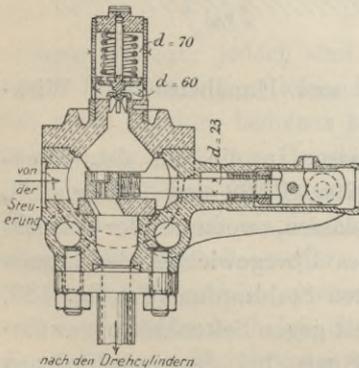


Fig. 174. Lotrechter Schnitt durch das Absperrventil.

M. 1:10.



Brücken wechselt dieses Maß etwas) gehoben, so verlassen die Enden des langen Armes (Textfig. 181, S. 193) ihre Lager; ein weiteres Anheben bis zu 160 mm löst auch die keilförmigen Einklinkvorrichtungen (Textfig. 180, S. 193) am Ende des langen Brückenarmes aus, wobei sich auch die Oberteile der Endauflager B des kurzen Armes (Textfig. 179a, S. 192 und Textfig. 181, S. 193) um rund 6 mm abheben, wodurch die Laufrollen D (Textfig. 179b, S. 192, 178, S. 190 und 182, S. 194) in Tätigkeit treten. Da letztere auf einer kreisförmig gebogenen, auf einem Mauerchen gelagerten Schiene F (Textfig. 165, S. 184 und Taf. I, Fig. 2) laufen, kann die Brücke mit kleiner Kraft

gedreht werden. Die Drehung bewirken zwei auf der Brücke selbst gelagerte Druckwasserflaschenzüge *K* (Textfig. 169 u. 179; Taf. I, Fig. 1 u. 2 und Taf. III, Fig. 8 bis 10), von welchen der eine das Aus-, der andere das Eindrehen betätigt. Die Kraftübertragung erfolgt durch 2 übereinander liegende verzinkte Stahldrahtseile *d* (Textfig. 169 u. 170) von 80 mm Durchmesser, die sich um den Rand des Pfeilers über gußeiserne verankerte Seilkranzabschnitte (Textfig. 170 *d*) legen und deren Enden an tief in die Pfeiler greifende Anker (Textfig. 170) befestigt sind. Infolge der Gröfse des Führungskranzdurchmessers von 8,72 m erhält ein solches Seil gewöhnlich blofs 30 t, und beim stärksten Sturm von 250 kg/qm höchstens 90 t Zug. Bei 55 Atm. Druck kann die Brücke noch langsam gegen einen Wind von 100 kg/qm gedreht werden; gleichwohl sind alle Teile für einen während der Drehung auftretenden Druck von 250 kg/qm bemessen.

Die Steuerung für Heben und Drehen erfolgt von einem heizbaren Steuerhäuschen aus, das über dem Drehpfeiler auf der Brücke selbst angebracht ist, weil sich von hier aus die Bahn und die Brücke am besten überblicken läfst. Das Druckwasser fließt vom Kraftsammler durch ein mitten in dem Hebekolben angebrachtes doppeltes Stopfbüchrohr (Textfig. 183) zu der Steuerung, und von da in die Hebe- und Drehzylinder. Die verbrauchte Druckflüssigkeit wird auf dem gleichen Weg durch eine zweite Leitung in die Speisebehälter der Pumpstation zurückgedrückt; im Winter besteht die Druckflüssigkeit zur Sicherung gegen Einfrieren aus 5 Teilen Glyzerin und 4 Teilen Wasser. Die Brücke dreht mit 2 m/Sek. Umfangsgeschwindigkeit; gegen das Ende der Bewegung wird der Zuflufs der Druckflüssigkeit selbsttätig abgesperrt (Textfig. 172, 173 u. 174) und die lebendige Kraft durch aufgestellte Wasserpuffer *B* (Textfig. 165, 166 u. 175) von 20 t Widerstand und 1 m Weg aufgezehrt. Die Ausbildung dieser Puffer ähnelt den Druckwasser-Eisenbahnpuffern und hat sich gut bewährt. Die genaue richtige Einstellung der Brücke erfährt der Maschinist mittels Stromschlusses einer elektrischen Klingel. Nun kann die Brücke gesenkt werden und es verriegelt sich bei den Bahnbrücken das Ende des langen Armes durch eine Einklinkvorrichtung (Textfig. 180) selbsttätig derart, dafs Schienenkopf genau vor Schienenkopf zu stehen kommt. Eine besondere Anordnung, der später noch zu besprechende Pendelschlitten (Textfig. 177 u. 178), am Ende des kurzen Armes dient zur Unschädlichmachung allenfallsiger durch ungleiche Erwärmung der Hauptträgergurtungen hervorgerufenen Verkrümmung der Fahrbahn. Letztere wird nach Absenkung der Brücke vom Steuerhäuschen aus durch einen Hebel verriegelt und die Steuerung (Textfig. 171) durch Umlegen des Hebels festgestellt, so dafs die Brücke nicht mehr bewegt werden kann.

Von den Unterteilen der Mittelaufleger über Drehpfeiler (Textfig. 183, S. 195) sind für jede Brücke 4 Stück, je 2 für die geschlossene und die geöffnete Brücke angebracht; bei den Osterröndfelder Eisenbahnbrücken sind sie überdies, behufs Aufnahme des Seitenschubes der geneigten Tragwände (Textfig. 175 *a*), wechselseitig verankert.

Die Ausgestaltung der Hauptträger erfolgte nach einheitlichen Grundsätzen. Der Gurtquerschnitt ist trogförmig (Textfig. 178, 179 u. 183); sämtliche Schrägstäbe und die lotrechten Stäbe (Taf. I, Fig. 1 und Taf. III, Fig. 8) sind steif ausgebildet und schlaffe Glieder in dem eisernen Überbau grundsätzlich vermieden worden. Bei der Anordnung der Gurtungsquerschnitte vermied man eine allzu grofse Zahl von Deckplatten dadurch, dafs, entsprechend dem Spannungszuwachs der Gurtungen gegen die Drehpfeiler hin, die Stehbleche doppelt und dreifach aufeinandergelegt wurden.

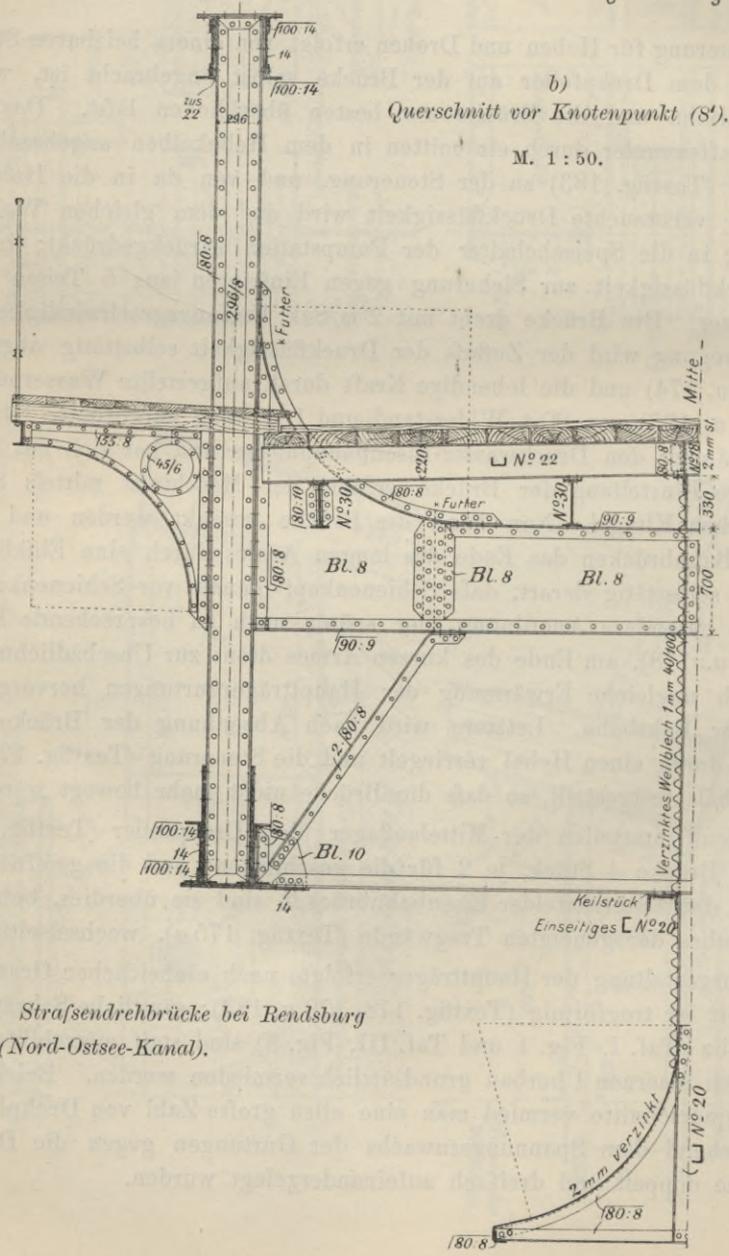
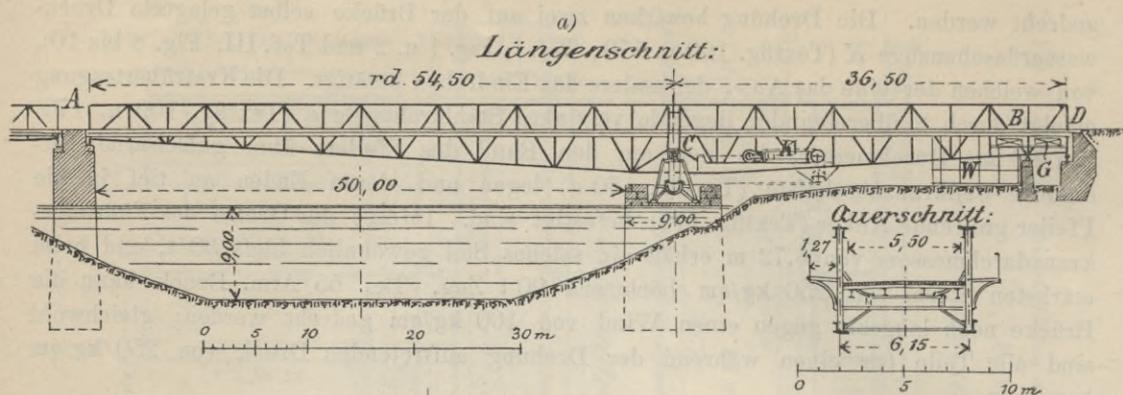


Fig. 179 a u. b. Straßendrehbrücke bei Rendsburg (Nord-Ostsee-Kanal).

Fig. 180 a bis c. Eisenbahnbrücke bei Osterrönfeld. Querschnitt und Verriegelung am Ende des langen Brückenarmes. M. 1 : 50.

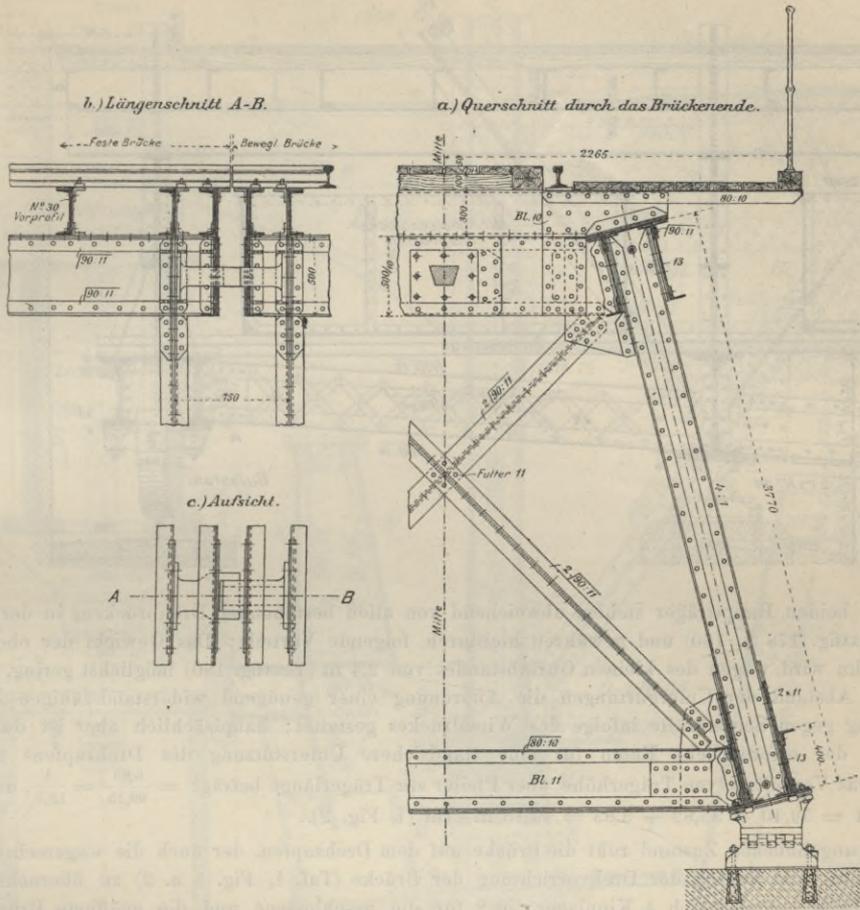
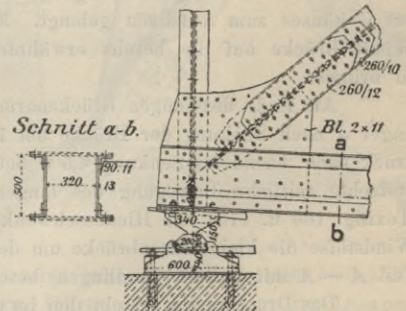


Fig. 181. Endauflager des langen Brückenarmes. M. 1 : 50.

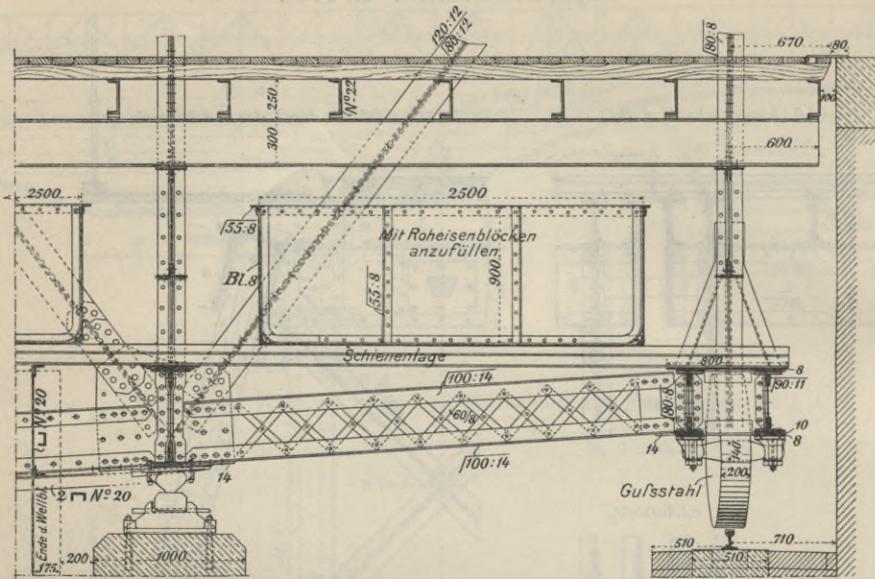


Zum Schutze gegen einfahrende Schiffe dienen hölzerne Leitwerke (Textfig. 167 u. 168); überdies sind die Drehpfeiler mit 9 m Durchmesser sehr mächtig gehalten. Im ausgeschwenkten Zustande sind die langen Brückenarme ebenfalls (Textfig. 168) unterstützt. Als Baustoff für alle Überbauten diene durchaus Schweißeisen; die Brücken am Nord-Ostsee-Kanal bilden wohl eine der letzten Gruppen bedeutender Brückenbauwerke, bei denen dieser Baustoff in Deutschland noch ausschliesslich Verwendung fand.

Besondere Eigentümlichkeiten und Hauptabmessungen der einzelnen Brücken.

a) Eisenbahndrehbrücke bei Osterrönfeld (Taf. I, Fig. 1 u. 2; Textfig. 165 bis 178, 180 u. 181). Die zweigleisige Bahn wird durch 2 in rund 150 m Abstand befindliche eingleisige Drehbrücken unter dem Winkel $\varphi = 70^\circ$ (Textfig. 167) über den Kanal geführt. Die geringen Gewichte dieser Einzeldrehbrücken erleichtern deren Bedienung.

Fig. 182. Strafenbrücke bei Rendsburg. Schnitt in der Längsachse am Ende des kurzen Brückenarmes. M. 1 : 50.



Die beiden Hauptträger stehen, abweichend von allen bestehenden Drehbrücken, in der Neigung $= 1 : 4$ (Textfig. 178 u. 180) und gewähren hierdurch folgende Vorteile: Das Gewicht der oben liegenden Fahrbahn wird wegen des kleinen Gurtabstandes von 2,4 m (Textfig. 180) möglichst gering, während der große Abstand der Untergurtungen die Anordnung einer genügend widerstandsfähigen liegenden Verspannung gegen Seitenkräfte infolge des Winddruckes gestattet; hauptsächlich aber ist durch diese Anordnung der erforderliche Raum für eine standsichere Unterstützung des Drehzapfens gewonnen worden. Das Verhältnis von Trägerhöhe über Pfeiler zur Trägerlänge beträgt $= \frac{6,25}{99,15} = \frac{1}{15,9}$, die Trägerlänge selbst $= 59,40 + 35,82 + 3,93 = 99,15$ m (Taf. I, Fig. 2).

Im angehobenen Zustand ruht die Brücke auf dem Drehzapfen, der auch die wagerechten Kräfte aus Winddruck und Seilzug der Drehvorrichtung der Brücke (Taf. I, Fig. 1 u. 2) zu übernehmen hat. Auf dem Pfeiler befinden sich 4 Kipplager; je 2 für die geschlossene und die geöffnete Brücke. Die am Ende des kurzen Armes befindlichen Kipplager (Textfig. 182) wurden eingetretener Mißstände halber durch Pendellager (Textfig. 176) ausgewechselt, deren lotrechte Pendelstellung Gewichte herbeiführen, von welchen eines bei jeder Neigung der Pendel angehoben wird, während das andere auf dem Boden des Gehäuses zum Aufsitzen gelangt. Eine Senkung des Drehzapfens um 30 mm genügt, um die geöffnete Brücke auf die bereits erwähnten beiden festen Auflager auf dem Drehpfeiler zum Aufsitzen zu bringen.

Am Ende des langen Brückenarmes befindet sich eine kleine eiserne Brücke (Textfig. 175), deren Lager *J* nach Senkung der Brücke um 15 mm in Wirksamkeit zu treten beginnen und deren Auflagerdruck nach beendeter Senkung 4,5 t beträgt, daher groß genug ist, eine etwa durch Winddruck angestrebte seitliche Bewegung des langen Armes hintanzuhalten. Außerdem verhindert der Buffer *B* (Textfig. 166 u. 175) ein Hinausschwenken der Brücke über ihre Endstellung. Da besonders heftige Windstöße die kleine Eisenbrücke um den Strebenfußpunkt *D* (Textfig. 175 a) zu drehen suchen, ist der Teil *A - A* mit Ballast (Findlingen) beschwert.

Das Druckwasser schiebt den im oberen Ende des Zylinders wasserdicht geführten Kolben (ähnlich wie Textfig. 183) lotrecht nach oben und hebt, weil der Kolben unter einen eingespannten Doppelquerträger greift, die Brücke. Bei 16 cm Hebung des Drehzapfens beträgt der Kolbendruck 520 t und der Druck der Pressflüssigkeit 50 Atm. Der Drehzylinder ist aus Stahlformguß und die das Kipplager tragende Hubsäule aus Gußeisen. Das Lager für die hintere Seilrolle und die Anschlußkörper der Drahtseile wird von einem kräftigen Gußstück gebildet, das mit dem eisernen Überbau sorgfältig verschraubt ist. Das vordere Ende der Drehzylinder (Textfig. 169) ist längsverschieblich aufgelagert und letzterer durch ein Wellblechhäuschen gegen Witterungseinflüsse geschützt.

Mit der Steuerung ist auch eine Verriegelung der Brücke in Verbindung gebracht; letztere erfolgt am kurzen Brückenarm mittels eines Gestänges, das an das freie Ende des untersten Armes eines dreiarmligen Hebels (Textfig. 171) angeschlossen ist. Bei verriegelter Brücke liegen die Steuerkolben unbeweglich fest. Auch die Verriegelung ist derart, daß die Signale auf Halt gestellt sein müssen, bevor die Brücke entriegelt werden kann. Diese Abhängigkeit zwischen den Eisenbahn- und Kanal-Signalen erreichte man teils durch Hebelgestänge, teils durch elektrische Blockapparate.

In dem mit dem Hebelkolben verbundenen Teil der Leitung ist ein Absperrventil (Textfig. 173 u. 174) eingebaut, das auch bei grober Unachtsamkeit des Brückenwärters ein zu hohes Heben verhindert. Die Feder dieses Ventils ist so stark bemessen, daß die Drehung des Doppelhebels AC und damit auch das Öffnen des Absperrventils in dem Augenblick beginnt, wie das Senken der Brücke. Auf die weiteren durch das Absperrventil erreichbaren Vorteile kann hier nicht näher eingegangen werden (hierüber siehe Litt. 120, 125 u. 126 nach § 94). Die Lage der Längsachse der Brücken nahezu von Ost nach West bedingt eine ungleiche Erwärmung der Gurtungen und damit eine Verkrümmung des Grundrisses. Um gleichwohl am Brückende die Schienenköpfe genau voreinander zu bringen, legte man ein 12 m langes Gleisstück, den auf S. 191 bereits erwähnten Pendelschlitten am Ende des kurzen Brückenarmes ein, der sich um den lotrechten Bolzen d (Textfig. 177, S. 190) drehen kann und am anderen Ende durch die Feder f in die richtige Stellung geschoben wird. Gegen Bewegung während der Überfahrt eines Bahnzuges schützt den Schlitten eine Verriegelung.

Die Maschinen- und Kesselanlagen zur Erzeugung der Prefsflüssigkeit befinden sich am südlichen Kanalufer in besonderen Gebäuden und dienen gemeinsam für die Osterröfnfelder und die Rendsburger Brücken. Die Prefspumpe liefert bei 75 Umdrehungen in der Minute 16 cbm Prefsflüssigkeit in der Stunde. Der für alle Drehbrücken gemeinsame Kraftsammler von 600 mm Kolbendurchmesser speichert bei 6 m Hubhöhe 1700 l Druckflüssigkeit auf und liefert 50 bis 55 Atm. Druck. Die verbrauchte Druckflüssigkeit wird in den Kraftsammlerturm wieder zurückgeleitet. Die Druckflüssigkeit-Erzeugungsstelle ist mit den Maschinenanlagen der beiden Osterröfnfelder und der Rendsburger Brücke in 1500 m Entfernung derart verbunden, daß im Bedarfsfalle alle 3 Brücken ihre Druckflüssigkeit von Rendsburg entnehmen können.

Der Zeitaufwand zum einmaligen Öffnen beträgt bei gewöhnlichem Wetter $1\frac{3}{4}$ Minuten, wovon $\frac{1}{4}$ Minute zum Heben, $1\frac{1}{4}$ Minuten zum Drehen erforderlich sind, wobei ein Mann bedient. Beim Versagen der Maschinenanlage kann mittels des bereits erwähnten Petroleummotors und des Handgetriebes (S. 187) die Brücke von 3 bis 4 Mann bei gutem Wetter in 8 Minuten, bei Sturm in 24 Minuten geöffnet oder geschlossen werden, wobei im letzten Fall die wagerechte Kraft am Umfang des Laufrades 1,5 t beträgt.

Die Gesamtkosten der beiden Osterröfnfelder Brücken beliefen sich auf 1350 000 M., wovon 410 000 M. auf Pfeiler und Widerlager, 670 000 M. auf die Überbauten, einschließlich der Maschinenanlage und Bewegungsvorrichtungen, der Rest auf Eisenbahnoberbau, Gebäude und Maschinenanlage, Signalvorrichtungen und sonstige Nebenarbeiten entfielen.

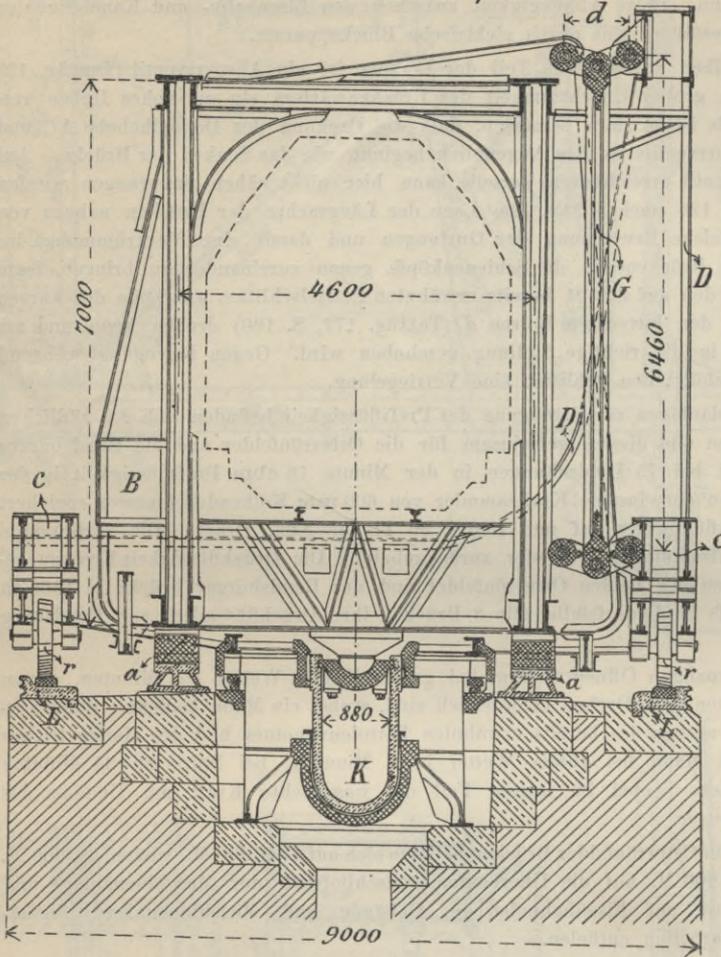
b) Strafsendrehbrücke bei Rendsburg (Textfig. 179 u. 182 bis 184). Sie kreuzt den Kanal rechtwinkelig und ist um rund 100 t schwerer als die Osterröfnfelder Brücken; deren Hauptabmessungen und Anordnungen sind der Textfig. 179 zu entnehmen. Sie kostete 800 000 M., wovon 240 000 M. auf Pfeiler und Widerlager, 470 000 M. auf den Überbau und der Rest auf Gebäude, Maschinenanlage und Sonstiges entfiel. Nähere Angaben über diese Brücke siehe Fortschrittsheft, sowie Litt. 120, 125 u. 126 nach § 94.

c) Die Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl (Taf. III, Fig. 8 bis 10 und Textfig. 185). Die tiefe Lage der Fahrbahntafel hatte erhebliche Schwierigkeiten zur Folge; der Königsstuhl konnte nur geringe Höhe erhalten; die Drehzylinder mußten außerhalb der Hauptträger parallel zur Brückenlängsachse gelagert werden, sodafs eine besondere Einrichtung, die Anordnung eines sogenannten Drehschemels (Textfig. 185) erforderlich wurde, um das seitliche Kippen der frei schwebenden Brücke hintanzuhalten. Er macht jede Bewegung des eisernen Überbaues mit und sichert letzteren in jeder beliebigen Stellung gegen Umkippen. Demgemäß mußte aber das Lager auf dem Hebelkolben K nicht als Kipp-, sondern als Kugellager (Textfig. 185) ausgeführt werden. Die seitliche Abstützung des beweglichen Überbaues während des Hebens und Senkens betätigt das Doppelparallelogramm G (Textfig. 185) als Führung. Der Drehschemel wirkt bis 72 kg/qm Winddruck; darüber hinaus treten Sicherheitshaken in Wirksamkeit. Vergl. Fortschrittsheft S. 10 u. Litt. 120, 125 u. 126 nach § 94.

Fig. 185. Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl (Nord-Ostsee-Kanal).

M. 1 : 100.

Querschnitt ü. d. Drehpfeiler.

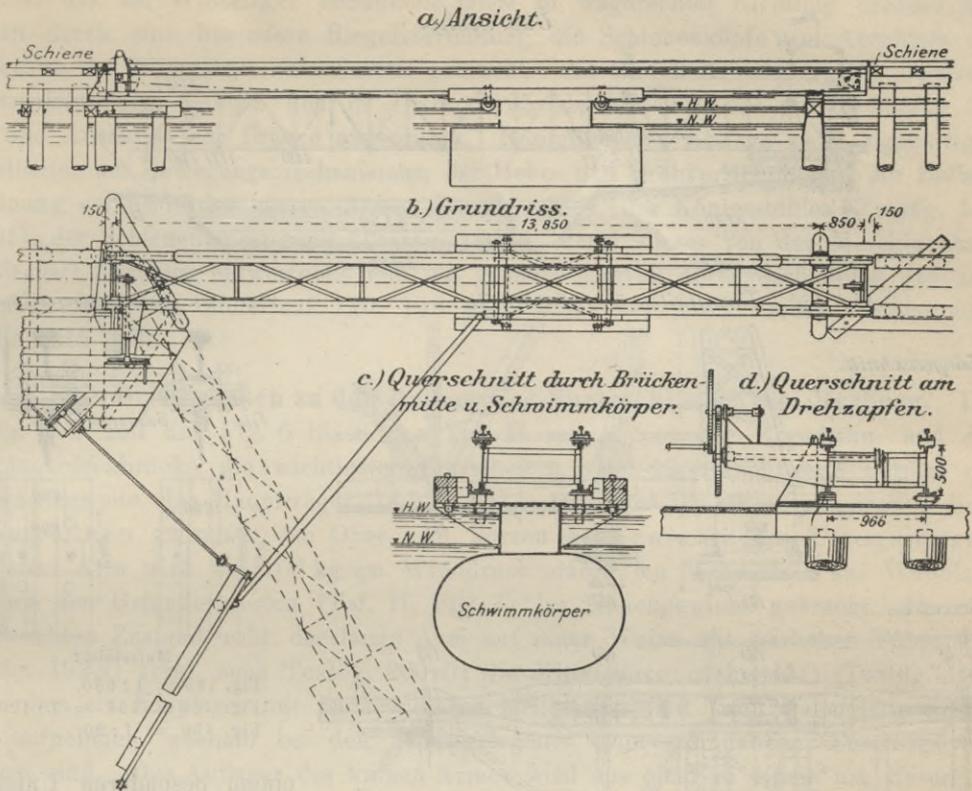


Verschieben des Schwimmkörpers gegen das freie Brückende zu gelangte er an eine Stelle, wo Auftrieb und Auflagerdruck gleich wurden; bei fortgesetztem Verschieben konnte dann die Brücke gedreht werden. Die Bedienung der Brücke erfolgte vom Drehzapfende der Brücke aus mittels einer Winde, die durch Kettenrad eine endlose, in den Schwimmkörper eingeschaltete Kette bewegte. Das Aus- und Einschwenken besorgte eine zweite, auf der verbreiterten Plattform befindliche Winde. Ein Mann genügte, um, je nach den Witterungsverhältnissen die Brücke in $2\frac{1}{2}$ bis 5 Min. abzuheben und auszuschwenken. Die Kosten beliefen sich, ohne die Ramm- und Aufstellungsarbeiten auf 6000 M. (näheres Litt. 125 nach § 94).

e) Prahmdrehbrücke bei Holtenau am Nord-Ostsee-Kanal. Die Prahme *A* sind zwischen Dalben geführt blofs lotrecht auf- und abwärts beweglich. Die Anlandebrücke *P* hebt und senkt sich mit dem Wasserstand selbsttätig. Die mittels Gelenken an *A* angeschlossenen Drehprahme *D* lassen sich bequem aus- und einschwenken und ist im eingeschwenkten Zustand die Brücke ohne weiteres befahrbar. Die ausgeschwenkte Stellung ist in Textfig. 187 strichliert angedeutet. Die Durchfahrtslicht-

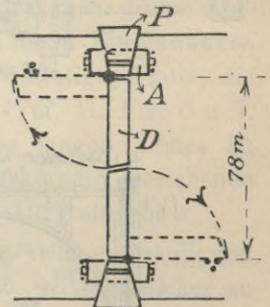
d) Die Pontondrehbrücke bei Holtenau am Nord-Ostsee-Kanal (Textfig. 186). Die Gesamtanordnung dieser eigenartigen, sowohl im Bau als Betrieb sehr einfachen Anlage, die sich sehr gut bewährte, ist aus nachstehender Textfig. 186 zu entnehmen. Die Brücke übersetzt den Kanal in schräger Richtung und ruht im geschlossenen Zustand beiderseits auf Pfahljochen. Mit dem linksseitigen Auffahrtsjoch war die Brückenfahrbahn durch einen Drehzapfen verbunden, um den sie sich beim Ausschwenken wagerecht bewegte, während das freie Ende des ausgeschwenkten Trägers von dem Schwimmkörper (Ponton, Textfig. 186 *c*) getragen wurde. Weil der Auftrieb des völlig eingetauchten ovalen Schwimmkörpers blofs 0,7 des Brückengewichtes betrug, konnte letztere die Brücke nicht heben. Durch

Fig. 186 a bis d. Pontondrehbrücke. Maßstäbe: a) u. b) = 1:150; c) u. d) = 1:75.



weite der geöffneten Brücke beträgt $2(39 - 6) = 66$ m. Die Drehung erfolgt für jeden Drehprahm *D* durch Ketten und Winden gesondert, wobei die Windwerke so bemessen, daß bei 40 kg/qm Winddruck und gleichgerichteter Strömung von 0,5 m Geschwindigkeit im Kanal jeder Drehprahm in $2\frac{1}{2}$ Minuten aus- oder eingeschwenkt werden kann. Die Anlage ist mit Capitain'schen Petroleummotoren ausgestattet und kostet ohne die Zufahrten 12000 M.; sie hat sich auch im frostreichen Winter 1896/97 sehr gut bewährt (näheres s. Litt. 125 nach § 94).

Fig. 187. Prahmdrehbrücke.



§ 85. Drehbrücke Neuhof über den Reiherstieg in Hamburg (Taf. III, Fig. 1 bis 7 u. Textfig. 188 bis 191). Die Brücke dient sowohl dem Bahn- als dem Straßenverkehr und besitzt überdies beiderseitige Fußwege von je 1,0 m nutzbarer Breite. Entfernung der Hauptträger 4,6 m. Der Schwedler'sche Grundgedanke gelangte bei diesem Bauwerk in eigenartiger Weise zur Ausführung. Im geschlossenen Zustande ruht die Brücke auf dem festen Auflager *C* (Textfig. 188) und den beiden beweglichen Endlagern (0) und (19); beim Ausschwenken kippt die Brücke um *C* (Textfig. 188 u. 189), kommt auf den Königsstuhl *K* zum Aufsitzen, kippt um letzteren weiter, bis sie schließlichschließlich auf ihm und zwei Laufrollen am Ende des kurzen Armes lagert; inzwischen hat sich das Ende des langen Armes abgehoben, sodafs die Brücke ausgedreht werden kann. Deren Drehung erfolgt durch Zahngetriebe, wobei der Zahnkranz auf

Fig. 188 bis 191. Drehbrücke NeuhoF über den Reiherstieg in Hamburg.

Fig. 188.
Übersicht.

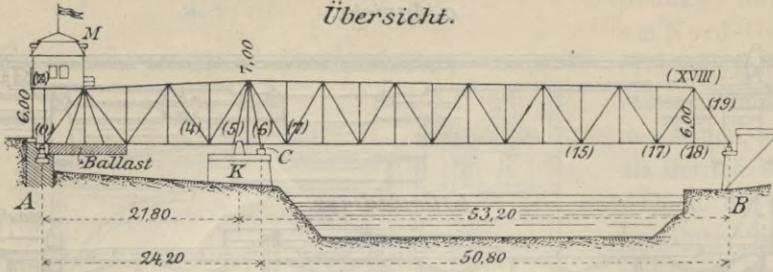


Fig. 189. Einzelheiten über Drehpfeiler.

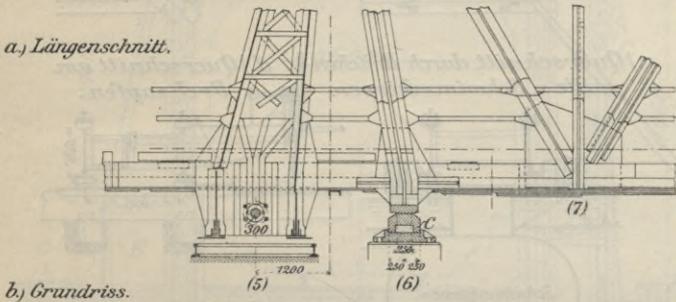
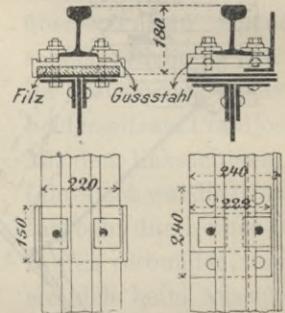


Fig. 190. Schienenbefestigung.



Mafsstäbe :

Fig. 188 = 1 : 830.

Fig. 189 u. 191 = 1 : 120.

Fig. 190 = 1 : 20.

einem besonderen Unterbau liegt. Den Antrieb betätigt mittels Umsetzung vorerst ein 25pferdiger Benzinmotor, der später durch eine Dynamomaschine, die auch das Heben und Senken zu besorgen hat, ersetzt werden soll. Hierzu ist am Ende des kurzen Armes die durch eine Leiter vom Fußweg aus zugängliche Maschinenstation M (Textfig. 188) angeordnet, die aufser dem Motor die Getriebe für das Drehen, Heben, Senken und Einstellen der Brücke enthält. Jedoch ist der Mechanismus so ausgebildet, dafs auch ohne elektrischen Strom mit Handbetrieb die Brücke bedient werden kann.

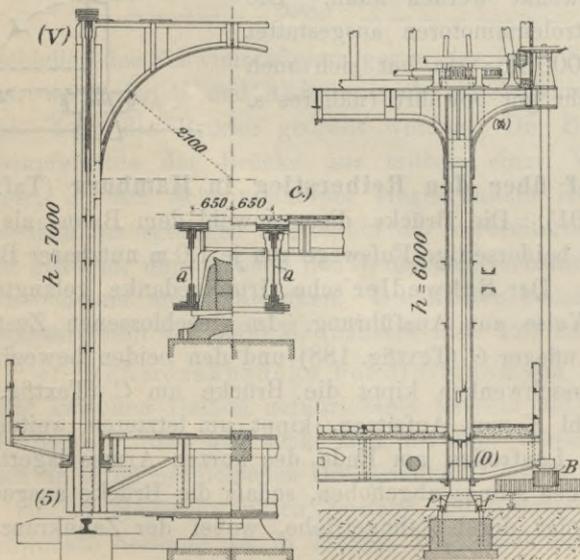
Eigenartige Ausgestaltungen der verschiedenen Auflager ermöglichen die durch

Fig. 191.

Querschnitt nächst:

a.) Ständer: (5)-(V).

b.) Endständer: (0).



Wärmeunterschiede hervorgerufenen Krümmungen der Hauptträger. Auf der Neuhofer Seite ist das am Widerlager befindliche Gleis in wagerechter Richtung drehbar und werden durch eine besondere Riegelvorrichtung die Schienenköpfe am Anschluß der Brücke an das Widerlager zum Passen gebracht. An beiden Armen sind elastische Prellvorrichtungen, ähnlich den in Textfig. 195 abgebildeten, für die Hemmung des Ein- und Auslaufes der Brücke angeordnet. Bezüglich der vielfach ganz eigenartigen Einzelheiten des Bewegungsmechanismus, der Hebe- und Drehvorrichtungen, der Ballastanordnung am Ende des kurzen Armes (Textfig. 188), des Königsstuhles (Textfig. 189 u. 191), der Schienenbefestigung (Textfig. 190) u. dergl. dieses von der Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg entworfenen und mit größter Sorgfalt durchgearbeiteten und ausgeführten Bauwerks muß auf Litt. 148 nach § 94 verwiesen werden. Siehe auch Tabelle nach § 94.

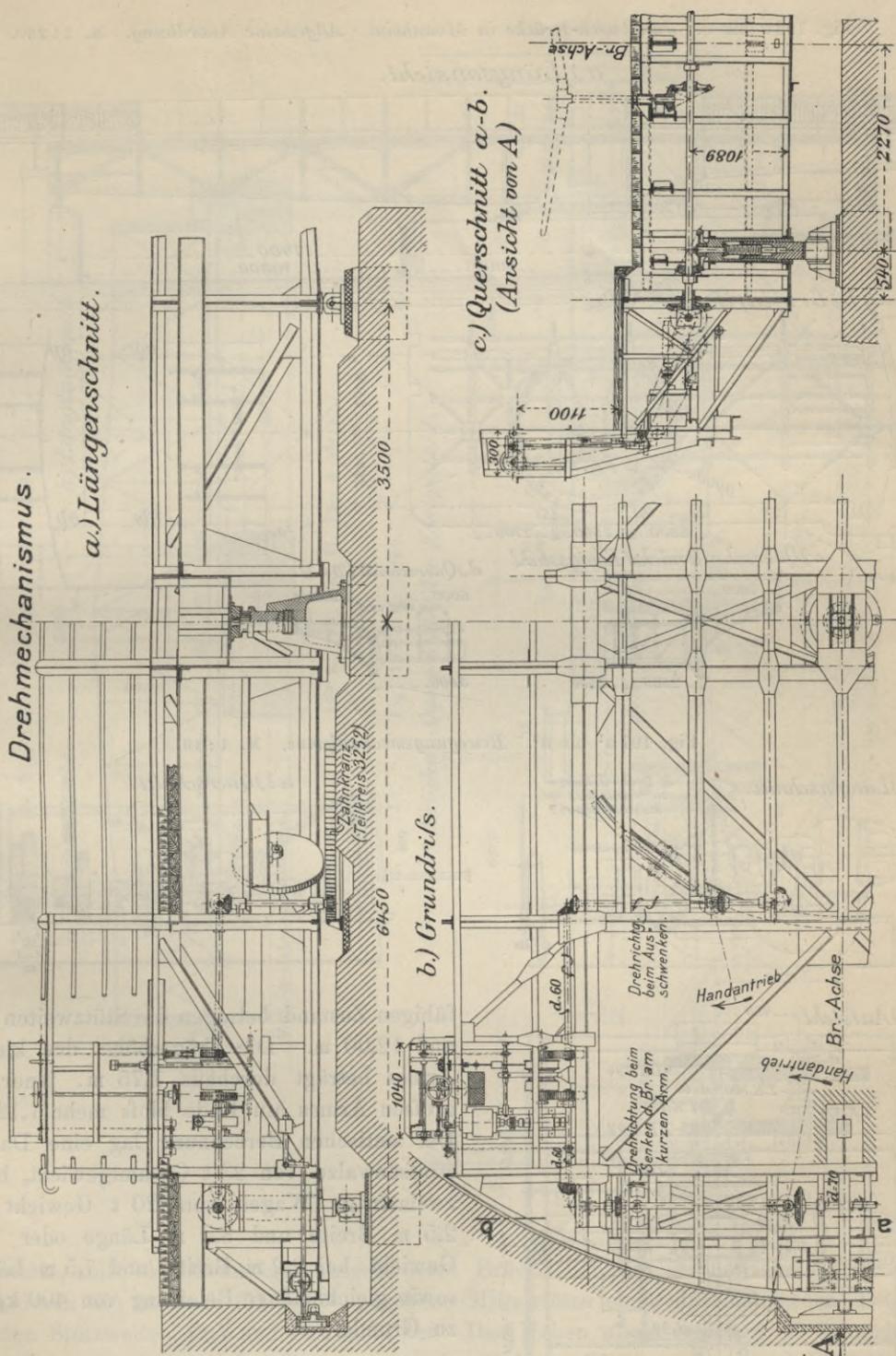
§ 86. Drehbrücken zu den Reiherstieg-Sperrschleusen bei Harburg. Die Textfig. 192 und die Fig. 6 bis 8 der Taf. II zeigen von der Eisenbahn- und der Fußgängerdrehbrücke die wichtigsten Einzelheiten. Bei 12 m Lichtweite beträgt die Gesamtstützweite der Hauptträger $14,5 + 9,0 = 23,5$ m. Die Windverspannung liegt im langen Arm zwischen den Ober-, im kurzen Arm zwischen den Untergurtungen. Der kurze Arm wird bei 100 kg/qm Winddruck durch ein Windschild aus Wellblech zwischen den Geländerpfosten (Taf. II, Fig. 7) ins Gleichgewicht gebracht. Im eingeschwenkten Zustand ruht der lange Arm auf einer Walze mit seitlichen Führungen (Textfig. 192 a; vergl. auch Textfig. 200 d); die Mittelstütze nächst (11) (Textfig. 192) bildet oben ein Kipplager mit nachstellbaren Keilplatten und kann wagerechte Kräfte nicht aufnehmen, weshalb bei den nächstgelegenen Querverbindungen Anschläge angeordnet sind. Das Auflager des kurzen Armes wird aus einer in einem am Untergurt befestigten Lager geführten Walze gebildet, die auf einer Spindel ruht, mittels welcher die Brücke gehoben oder gesenkt wird (Taf. II, Fig. 6 u. 7). Da auch dieses Auflager wagerechte Kräfte nicht aufzunehmen vermag, schiebt sich beim Einschwenken der Brücke ein Riegel in die Führung der an die Kammermauer befestigte Platte, die gleichzeitig als Riegelfalle der Fangvorrichtung der Brücke dient (Taf. II, Fig. 6 u. 7, vergl. auch Fortschrittsheft Fig. 22 b u. c, S. 20). Am Ende des langen Armes ist eine selbsttätig wirkende Verriegelung angebracht. Der aus Gufskörpern bestehende Ballast des kurzen Armes ist zwischen den Hauptträgern (Textfig. 192) eingebaut.

Die zwei Benzinmotoren und die Dynamomaschine sind in dem unterkellerten Raum untergebracht. Die Kraftentnahme erfolgt, um den Betrieb wirtschaftlicher zu gestalten, aus Kraftsammlern.

Der Mechanismus der Drehbrücken ist für beide gleich und erfolgt deren Bedienung von einem für die ganze Anlage gemeinsam angelegten Wärterstand aus.

Geschlossen ruht die Brücke auf den Lagern (0), (9) und (16). Die Kippbewegung erfolgt nach dem Freimachen der Lager (0) zuerst um die Kipplager (10) und dann um den Königsstuhl, bis die Laufräder zum Aufsitzen auf den Laufkranz gelangen. Die weiteren Einzelheiten der Hebe- und Drehvorrichtungen sind den Fig. 6 bis 8 der Taf. II, sowie den Textfig: 192 a bis d zu entnehmen. Für den Betrieb der ganzen Anlage (Schleusen und Drehbrücken) kamen Hauptstrommotoren zur Ausführung; sie gewähren den Vorteil, daß bei guten Witterungsverhältnissen (Windstille) die zur Ausführung der verschiedenen Bewegungen erforderlichen Zeiträume von selbst sich verkürzen, weil die Hauptstrommotoren unter Entlastungen ihre Umlaufzahlen erhöhen,

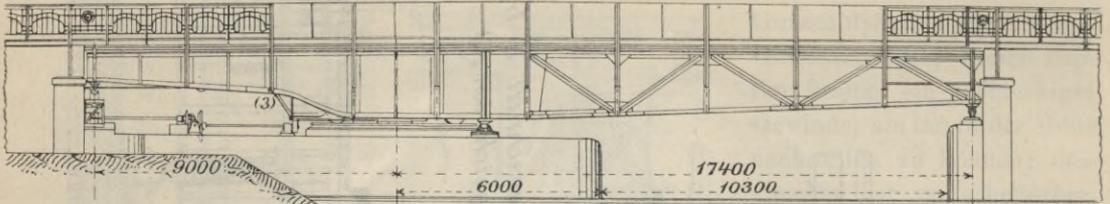
Fig. 195 a, b, c. Drehbrücke über den westlichen Kanal bei Harburg. M. 1:75.



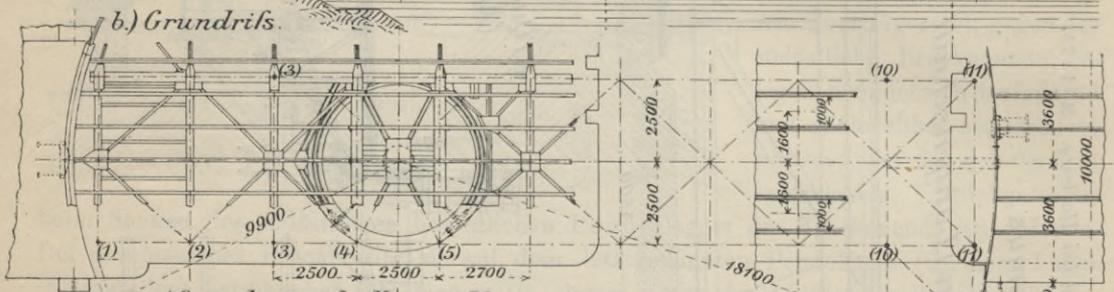
Nürnberg. Der Abstand der Endauflager (0) und (9), ausgebildet als längsverschiebliche Rollenlager (Textfig. 195 a), beträgt 21,95 ($= 0,35 + 2 \cdot 2,8 + 2 \cdot 0,5 + 5 \cdot 3,0$) m; der Königsstuhl teilt diesen Abstand in 6,45 und 15,50 m (Textfig. 195 a); im betriebs-

Fig. 196 a bis d. Jungbusch-Brücke in Mannheim. Allgemeine Anordnung. M. 1 : 230.

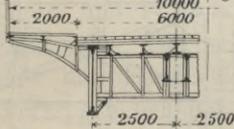
a.) Längsansicht.



b.) Grundriss.



c.) Querschnitt nächst Königsstuhl



d.) Querschnitt (3)-(3).

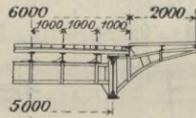
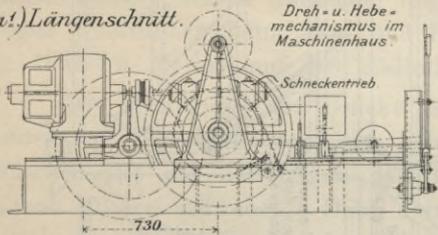
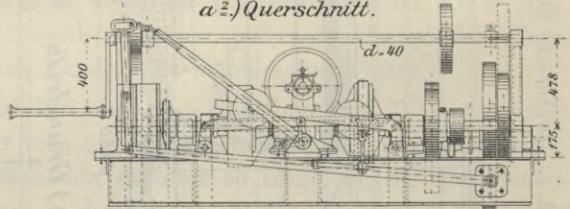


Fig. 197 a¹ bis a³. Bewegungsmechanismus. M. 1 : 40.

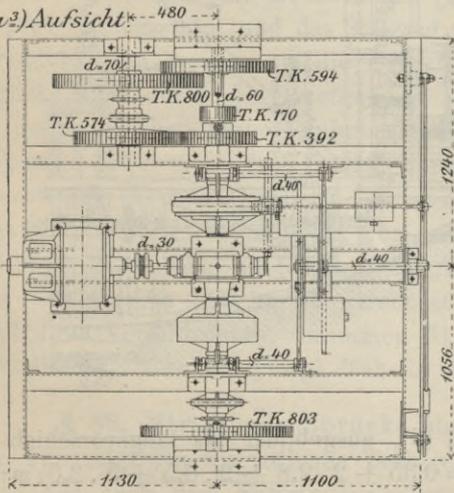
a¹) Längsschnitt.



a²) Querschnitt.



a³) Aufsicht



fähigen Zustand betragen die Stützweiten 9,95 und 12,00 m. Die Trägerhöhe des kleinen Armes beträgt durchaus 1,75 m, jener des großen Armes am Ende blofs mehr 1,125 m. Der statischen Berechnung lag eine Dampfstrafsenwalze von 23 t Gesamtgewicht, bezw. zweiachsige Wagen von 20 t Gewicht bei 2,5 m Breite und 8,5 m Länge oder 10 t Gewicht bei 2,2 m Breite und 7,5 m Länge, sowie gleichmäßige Belastung von 400 kg/qm zu Grunde.

§ 89. Jungbusch-Strafsendrehbrücke in Mannheim. Textfig. 196 stellt die Gesamtordnung, Textfig. 197 die Einzelheiten des Bewegungsmechanismus dieser teils als

einen Bruchteil der Verkehrslast aufzunehmen. Das Drehen der Brücke betätigt ein Elektromotor mittels Zahngetriebes; desgl. hebt und senkt ein Elektromotor die Hubspindeln am Brückenende (Textfig. 198 und Taf. II, Fig. 9 bis 12). Beide Bewegungen können auch durch Handantrieb vollführt werden. Die Pfeileranlage sichert den Königsstuhl gegen Verschlämren auch bei aufsergewöhnlichem Hochwasser, so daß die Brücke noch gedreht werden kann.

Die geringe verfügbare Konstruktionshöhe der Fahrbahn (0,8 m) führte zur Ausgestaltung des oberen Rahmens als tragender Querträger (Textfig. 200 *b*), an den die Fahrbahn durch einen Zugstab angehängt ist. Die Grundlagen zur genauen Berechnung dieser statisch unbestimmten Anordnung siehe Litt. 65 nach § 37 des Anhangs. Der Hauptteil der Windwirkung wird von einer zwischen den Untergurtungen der beiden Hauptträger liegenden Verspannung aufgenommen, der geringe auf die Obergurtungen treffende Teil durch die über den Widerlagern und dem Drehpfeiler angeordneten Hauptquerrahmen nach den Auflagern geleitet. Belastungen und Abmessungen sind für beide Hauptträger verschieden. Die beiden bei (6) und (7) (Textfig. 198) angeordneten, in Textfig. 199 dargestellten Hauptquerträger über Pfeiler haben die Gesamtgewichte zum Königsstuhl zu leiten. Der geometrische Stützpunkt des Königsstuhles fällt mit dem Brückenschwerpunkt zusammen, weshalb die Brückenlängsachse gegen die Drehachse um 335 mm verschoben wurde (Textfig. 200 *a*). Bei der Querschnittsausbildung der Hauptträger wurde steife, weit auseinandergezogene und entsprechend versteifte Profilgebung vorgesehen. Für die Querrahmen wählte man mit Rücksicht auf möglichste Dauerhaftigkeit einfach geschlossene Formen ohne Fugen und Schlitze. Die festen Lager auf dem Drehpfeiler (Textfig. 199) sind mittels Schlitzen senkrecht zur Brückenlängsachse verschiebbar und wurden bei der Aufstellung so eingestellt, daß bei eingeschwenkter Brücke genau 1 mm Spiel vorhanden war. Auf den Widerlagern befinden sich Rollenlager (Textfig. 200 *d*), in welchen sich an dem einen Brückenende die Enden der Hubspindeln (Taf. II, Fig. 9 u. 12) einsetzen, durch die sich die Höhenregelung dieser Auflager ausführen läßt.

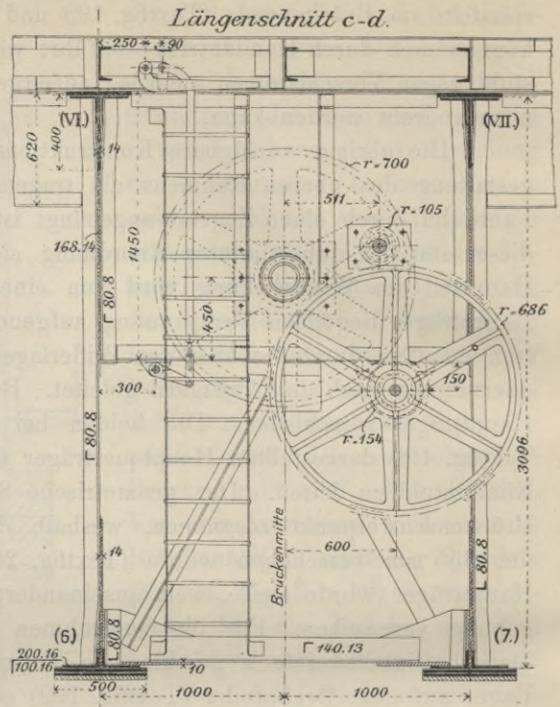
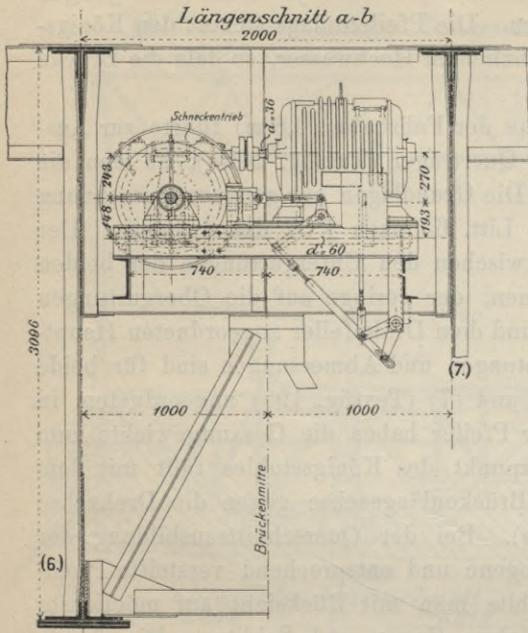
Die wesentlichen Teile des, wie schon erwähnt, durch einen Elektromotor (Textfig. 201 *a*) angetriebenen, und hauptsächlich zwischen den beiden Pfeilerquerträgern (6) und (7) (Textfig. 199) eingebauten Drehmechanismus sind aus den Textfig. 199 u. 201 zu ersehen; die Anordnung der Hubspindeln samt Getriebe, die zwischen und nächst den Endquerträgern eingebaut sind, siehe Fig. 9 bis 12, Taf. II. Der Drehmotor arbeitet zunächst auf einem mehrgängigen, vollständig eingekapselten und in Öl laufenden Schneckenantrieb; das Schneckenrad ist aus Phosphorbronze, die Schnecke aus Stahl hergestellt und mit Kugellagern versehen, die weitere Bewegung wird durch eine Kuppelung, Stirn- und Kegelertriebe auf den Zahnkranz geleitet. Die Kuppelung tritt im Falle des Handantriebes in Tätigkeit. Als Betriebskraft wird Dreiphasen-Wechselstrom dem städtischen Leitungsnetz entnommen, der mittels Flußkabel nach dem Drehpfeiler geführt wird. Von hier aus geht ein biegsames Kabel und schlingt sich einmal um den Unterteil des Königsstuhles, so daß es sich beim Drehen der Brücke um 90° auf- oder abwickeln kann. Die Kippbewegung wird ebenfalls durch einen Elektromotor und die schon erwähnten Hubspindeln mittels eines zwischen den Querträgern eingebauten Getriebes mit Schneckenantrieb betätigt (Taf. II, Fig. 9 bis 12). Die Übertragung erfolgt durch Kuppelung, Stirn- und Kegelertriebe, wobei erstere ebenfalls im Falle des Handantriebes in Wirksamkeit tritt. Die links- und rechtsgängigen Spindeln arbeiten mit hohem Wirkungsgrad. Die nächst den Hubspindeln angeordnete und gut bewährte Federpufferanordnung (Taf. II, Fig. 9, vergl. auch ebenda Fig. 6 bis 8) mildert beim Anlegen der Brücke an den Widerlagern deren Bewegung und zentriert die Brücke. Vergl. auch die ähnliche Anlage: Fortschrittsheft Fig. 22 *b* u. c, S. 20. Um die Brücke kippfähig zu machen, ist zwischen den Wandungen des kastenförmigen Endquerträgers ein Ballast aus Gußkörpern von 3 t Gewicht angebracht.

Die Bedienung der Brücke erfolgt von der Fahrbahn aus; die Steuervorrichtungen befinden sich in einem verschließbaren Kasten (Textfig. 201 *c*) nächst Querträger (6)

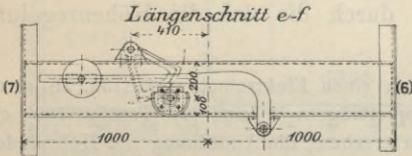
Fig. 201. Drehbrücke über den Industriehafen in Mannheim. (Vergl. Taf. II, Fig. 9 bis 12.)

a)

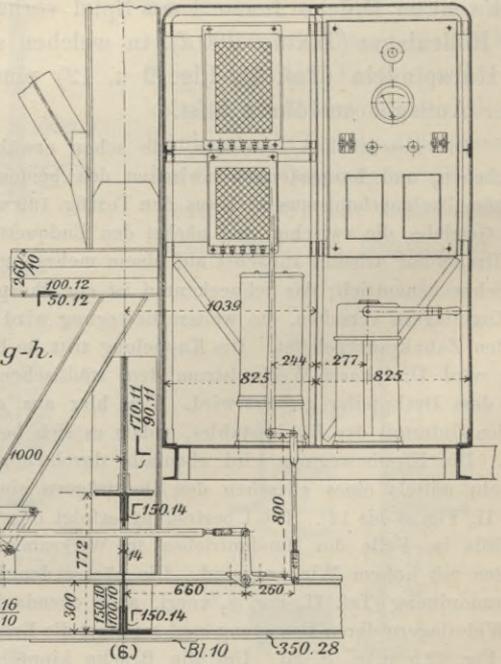
b)



d)



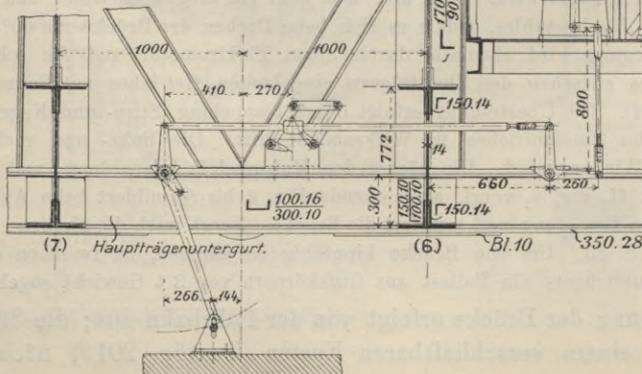
e)



M. 1:40.

Längenschnitt g-h.

Br. ausgedreht.



auf dem Fußweg. Beide Brückenzufahrten sind, getrennt für Strafsen- und Eisenbahnverkehr, mit Schranken und Semaphoren versehen, die vom Widerlager aus bedient werden. Durch den Beginn des Ausdrehens werden die Semaphoren selbsttätig verriegelt; desgleichen macht eine besondere Anordnung ein Ausschwenken der Brücke unmöglich, bevor Schranken und Semaphor auf „Halt“ gestellt sind.

Gegen seitliche Verschiebungen schützen die Brücke an dem einen Ende vorstehende Rollenränder (Textfig. 200 *d*, S. 208) an dem anderen Klauen, die beim Kippen in entsprechende an dem Mauerwerk befestigte Fallen (ähnlich wie Textfig. 195) treten. Werden vor dem Ausdrehen der Brücke Schranken und Semaphoren auf „Halt“ gestellt, so wird vom Mauerwerk des festen Widerlagers aus ein in die Brücke greifender Riegel zurückgezogen und dadurch letztere freigegeben, worauf die mit einer seitlichen Handkurbel ausgestattete Steuervorrichtung eingeschaltet werden kann. Gegen Überschreitung der Kippbewegung wirkt selbsttätige Stromunterbrechung. Nach vollzogener Kippung ruht die Brücke auf dem Königsstuhl und den beiden dem beweglichen Brückenende zugekehrten Laufrädern. Symmetrisch zu letzterer in Bezug auf die Drehachse liegen Sicherheitslaufräder, die bei einseitiger Windwirkung in Ausnahmefällen die Standicherheit gewährleisten.

Als Kuppelung am Drehmechanismus dient eine Backenbremse, die stets durch ein Gewicht angezogen ist und zugleich mit der Bedienung der Steuervorrichtung zum Drehmotor gelöst wird. Diese Bremsungsart gestattet ein allmähliches Bremsen, das mit elektrischen Bremsen nicht erreicht werden kann, mit Rücksicht auf große Massenwirkungen der Brücke aber angestrebt werden mußte. Zur Vorsorge ist auch Handantrieb mittels eines Tummelbaumes durch 4 Mann sowohl für die Dreh- (Taf. II, Fig. 9) als auch für die Kippbewegung (Textfig. 199) vorgesehen. Im letzteren Fall erfordert das Heben und Senken 1,5 bzw. 1,0 Minute, das Drehen um 90° unter den ungünstigsten Verhältnissen (25 kg/qm einseitiger Windüberdruck) 3½ Minuten. Bei elektrischem Antrieb vermindern sich diese Zeiten auf 1, bzw. 1½ Minuten. — Die Motoren unter der Fahrbahn werden mit Glühlicht beleuchtet.

Die Ausführung des eisernen Überbaues erfolgte nach dem Zulegeverfahren; als Baustoff diente basisches Thomas-Fluß Eisen, bzw. für die Lagerteile Stahl. Der Mechanismus der Brücke arbeitet ruhig und sicher und erfordert eine vollständige Drehung nicht ganz 5 Minuten. Einmaliges Ausdrehen erfordert rd. 0,4 KW. oder 0,54 PS. — Entwurf und Ausführung: Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg.

§ 91. Die Herren-Drehbrücke zu Lübeck (Taf. II, Fig. 1 bis 5; Taf. III, Fig. 15 bis 19 und Textfig. 202 bis 209). Die allgemeine Anordnung dieser Strafsen-doppeldrehbrücke zeigen die Fig. 15 bis 19 der Tafel III. Ganz eigenartig sind diesem Bauwerk: 1. Die Anwendung des Schwedler'schen Grundgedankens auf eine Doppeldrehbrücke, 2. die Spindelstützung des kurzen Armes, 3. dessen Niederankerung durch Belastung der Mittelöffnung, 4. die Ausgestaltung des Kraftsammlers bei dessen gleichzeitiger Ausnützung als Gegengewicht und 5. die zwangläufige Verriegelung beider Brückenhälften, wobei ausschließlich lotrechte Kräfte übertragen werden können. — Besonders erwähnenswert sind auch die geringen Kosten der Gesamtanlage im Verhältnis zur Leistungsfähigkeit des Bauwerkes. Der Gedanke, die Mittelöffnung als Dreigelenkbogen auszubilden, erwies sich mit Rücksicht auf die Wärmewirkungen als sehr unzweckmäßig.

Die Brücke besteht aus zwei nahezu vollständig symmetrischen Hälften, gebildet aus Kragträgern, die durch Ballast, sowie die am Ende des kurzen Brückenarmes befindliche Betonmauer niedergehalten werden und im Scheitel, wie bereits erwähnt, so

verbunden sind, daß auch für einseitige, ungünstigste Belastungsfälle beide Kragarme zusammenwirken und die gleiche Höhenlage an der Trennungsfuge (11)—(XI) der Fahrbahn (Taf. III, Fig. 15, Textfig. 204 u. 207) erhalten bleibt. Bei Belastung der geschlossenen Brücke durch Verkehrslast verhindert der in Textfig. 208 dargestellte, im Widerlagermauerwerk verankerte Anschlag das Aufkippen der Enden der kurzen Brückenarme.

Bewegungsvorrichtungen. Zuerst wird der kurze Arm gesenkt, bis die Brücke auf dem Königsstuhl und den Laufrädern (Taf. III, Fig. 15 u. 18) aufsitzt, wodurch gleichzeitig selbsttätig die Schranken geschlossen und die Brücke entriegelt wird. Jeder Flügel kann nun um 90° gedreht, der Drehmechanismus gebremst und das Schiff durchgelassen werden, worauf sich diese Vorgänge in umgekehrter Reihenfolge wiederholen. Hierzu bedarf jeder Flügel einer Einrichtung zum Heben und Senken, zum Aus- und Eindrehen, zum Ver- und Entriegeln und zum Schließen und Öffnen der Schranken. Für den Betrieb ist vorerst Handantrieb vorgesehen; doch sind alle Anordnungen für den maschinellen Antrieb durch Elektromotoren vorgesehen. Im geschlossenen Zustand ruht die Brücke auf den Rollenlagern bei (0) (Taf. III, Fig. 15) und auf dem lotrecht nachstellbaren, mit zylindrischer Oberfläche versehenen festen Lagern bei (5). Beim Ablassen des kurzen Armes kippt die Brücke um (5) und legt sich auf den Königsstuhl in Mitte des Faches (4)—(5), sobald der im eingeschwenkten Zustand vorhandene Spielraum von 2 mm zwischen Pfanne und Zapfen überwunden ist. Der Ballast des kurzen Armes kippt die Brücke um die Pfanne des Königsstuhles weiter, bis sie mit den Laufrollen auf dem Laufkranz ruht; inzwischen wurden die Auflagerstempel (Textfig. 208) am Ende des kurzen Armes frei, wodurch die Brücke zum Ausdrehen fertig wird. Der Königsstuhl hat den Hauptteil des Gewichtes der ausgeschwenkten Brücke zu tragen; dessen nachstellbare Spurpfanne ist aus Phosphorbronze und der Spurzapfen läuft in einem Ölbad, gesichert gegen Schmutz und Staubzutritt.

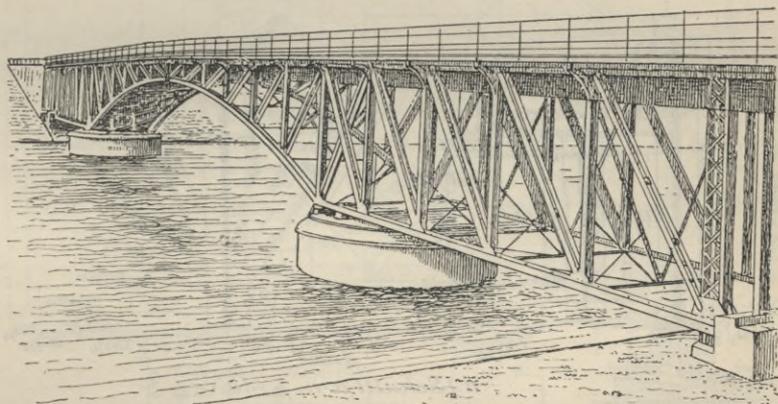
Die zum Heben und Senken der Brücke in den Endpfosten (0) (Taf. III, Fig. 15 u. 18, Textfig. 208) angeordneten Führungstempel werden mittels Schrauben bewegt; deren Antrieb erfolgt durch ein doppeltes Kegelrädergetriebe von einer in der Fahrbahn nächst Endquerträger (Taf. III, Fig. 15) endenden gemeinsamen Welle durch einen Arbeiter mittels Wendebaum, bezw. später mittels eines weiteren Kegelrädergetriebes und einer wagerechten Welle durch den im Fach (2)—(3) aufgestellten Elektromotor. Das Drehen der Brücke kann ein Mann mittels eines Wendebaumes bewerkstelligen. Die Übertragung der Drehbewegung auf den am Pfeiler befestigten Zahnkranz ist aus der Textfig. 202 und der Fig. 15 u. 18 der Taf. III zu ersehen. Für den späteren Antrieb durch einen Elektromotor sind die erforderlichen Wellen und Kegelradgetriebe angebracht.

Für die 8 pferdestarken elektrischen Nebenschlußmotoren von 220 Volt Spannung ist ein verschalter Raum vorgesehen, dessen Aufsfläche als Windschild dient, um die Windmomente beider Arme eines Flügels nach Tunlichkeit auszugleichen. Die Schaltung für den Elektromotor, sowie das Aus- und Einkuppeln erfolgt von der Fahrbahn aus. Dem Überdrehen der Brücke wirken am Zahnkranz ein Anschlag, sowie selbsttätige Ausschaltung des Motors entgegen. Die Verriegelung und Zentrierung der Brücke ist in bewährter Weise am Widerlagerende der Brücke, ähnlich wie bei den Reihertiegdrehbrücken (Taf. III, Fig. 6 bis 8), ausgeführt worden.

Da vorschriftsgemäß der nordöstliche Flügel zuerst ausgedreht werden muß, stützt sich in Brückenmitte der südwestliche Flügel gegen den anderen; demgemäß ist

die Ausbildung des Mittelgelenkes an der Konsolspitze (Taf. III, Fig. 15 u. 17, Textfig. 203 bis 205), das die lotrechten Querkräfte aufnehmen muß und als Puffer für die eingedrehten Konsolspitzen zu dienen hat. Die Führungsflächen des zylindrischen Gelenkes sind derart ermittelt worden, daß in der Endstellung der verlangte Kraftschluß ermöglicht wird. Zur endgültigen Festhaltung in Brückenmitte und an den Widerlagern dienen selbsttätig arbeitende Anordnungen. An den kurzen Armen sind Anschläge verwendet, in Brückenmitte ein längsverschieblicher Riegel, der mittels Hebel, Drahtzug und einem an der Nebenöffnung befestigten Anschlag entsprechend verschoben wird (Taf. III, Fig. 17 und Textfig. 206 u. 207). Diesen Riegel besitzt nur der nordwestliche Flügel. Die Abschlußsschranken, mit denen das Signal zwangsläufig verbunden ist, bedient der Brückenwärter mit der Hand. Die Trennungsfuge in Brückenmitte ist durch eine umklappbare eiserne Deckplatte (Textfig. 204) geschlossen, die beim Zusammenfahren beider Flügel durch geeignete Führung zum Aufliegen gezwungen wird. Zum Heben, bezw. Senken mit gleichzeitiger Verriegelung, bezw. Entriegelung benötigt ein Mann $4\frac{1}{2}$ Minuten. Für das Aus-, bezw. Eindrehen eines Flügels um 90° braucht ein Mann bei gewöhnlichem Wetter, d. i. bei nicht mehr als 5 kg/qm Winddruck, $3\frac{1}{2}$ Minuten. Bei Verwendung von Elektromotoren vermindern sich diese Zeiten auf $\frac{1}{2}$, bezw. $1\frac{1}{4}$ Minuten.

Fig. 209.

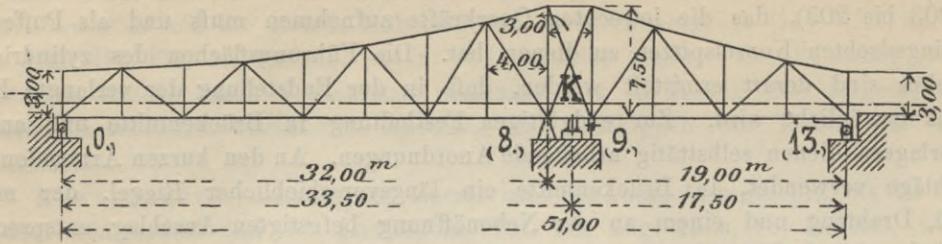


Die Herren-Drehbrücke mit 50 m Lichtweite und 58,70 m Abstand der Drehzapfen gehört zu den größten und beachtenswertesten deutschen Drehbrücken; sie wurde 1902 in Betrieb gestellt. Der erste Entwurf stammt von der Wasserbauabteilung der Bau-Deputation Lübeck (Rehder u. Buzemann); die weitere Einzelausbildung und Ausführung war der Brückenbauabteilung der Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg übertragen. Die Gesamtkosten beliefen sich auf nur 250000 Mk., von dem 130000 M. auf die Pfeiler und Widerlager, 120000 M. auf den eisernen Überbau und die Bewegungsmechanismen kamen. Textfig. 209 zeigt die Brücke im betriebsfähigen Zustand. Hierbei ist auf 10 m Breite das Durchfahrtsprofil mindestens 7,76 m, auf 20 m Breite noch 7,20 m und bei 50 m Breite schließlich 3,31 m hoch.

§ 92. Strafsendrehbrücke über die untere Hafenmündung in Ludwigshafen (Textfig. 210 bis 212, sowie Taf. I, Fig. 15 bis 19. Vergl. auch Fortschrittsheft: Fig. 22, S. 20).

Die Hauptabmessungen zeigt Textfig. 210; die nutzbare Fahrbahnbreite beträgt 5,0 m bei 5,4 m Abstand der Hauptträgerwandungen. Im betriebsfähigen Zustand erhalten die Auflager (0), (8) u. (13),

Fig. 210.



die Auflagerdrücke 7,6, 164,5 u. 25,4 t. Ist das Lager (0) druckfrei geworden, so ist der Königsstuhl *K* ebenfalls noch druckfrei, während die Drücke bei (8) und (13) nun 181,8 und 15,7 t betragen. Durch weiteres Senken des kurzen Armes wird auch das Auflager (8) (Textfig. 211) druckfrei und der Königsstuhl *K* (Textfig. 211 e) erhält 393,2 t Druck, während jedes der beiden Auflager bei (13) nur mehr 0,9 t Druck erfährt; nun kommen die Laufräder bei (9) zum Tragen und erhalten schliesslich je 8,3 t, während die Königsstuhlbelastung auf 378,4 t zurückgegangen ist, worauf die Brücke ausgedreht werden kann. Die Drehung erfolgt durch das in Textfig. 212 dargestellte Getriebe mittels Drahtseilen von Brückenmitte aus. Im Anfang des Betriebes machte sich das „Längen“ der Drahtseile störend bemerkbar; es sind deshalb andere Betriebsmittel vorzuziehen. Entwurf und Ausführung, einschliesslich der Bewegungsvorrichtungen: Maschinenbau-Aktiengesellschaft Nürnberg (vergl. Fortschrittsheft S. 19 u. 20, Fig. 22).

Fig. 211 a bis e. Einzelheiten der Drehbrücke über die untere Hafenmündung in Ludwigshafen. M. 1:40. (Vergl. hierzu Fig. 210.)

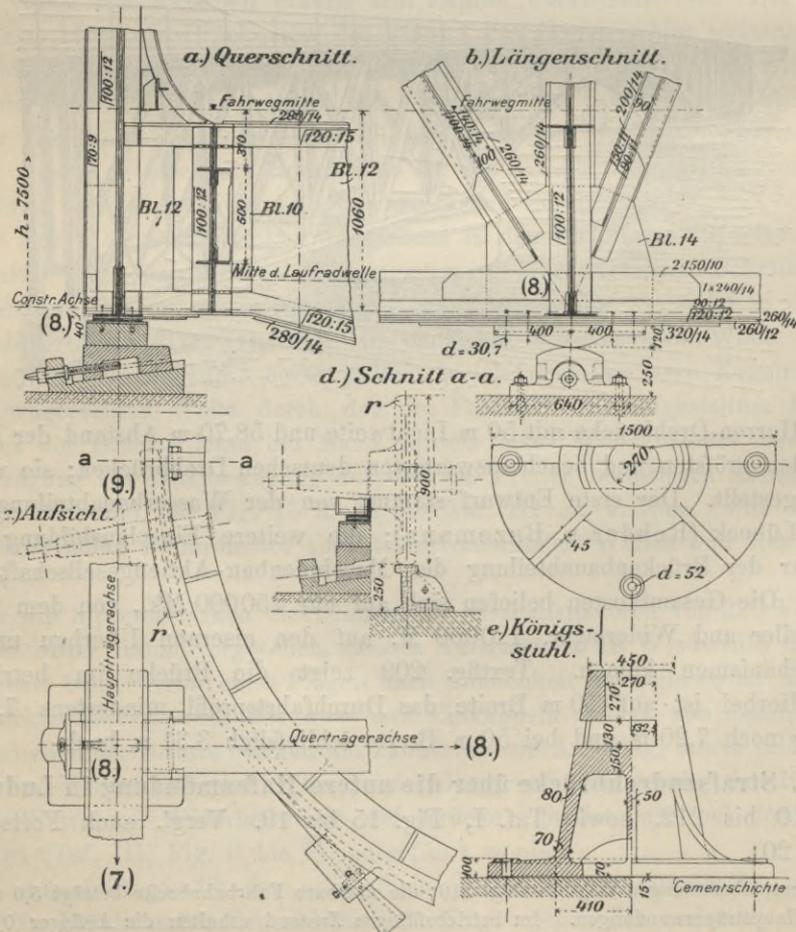
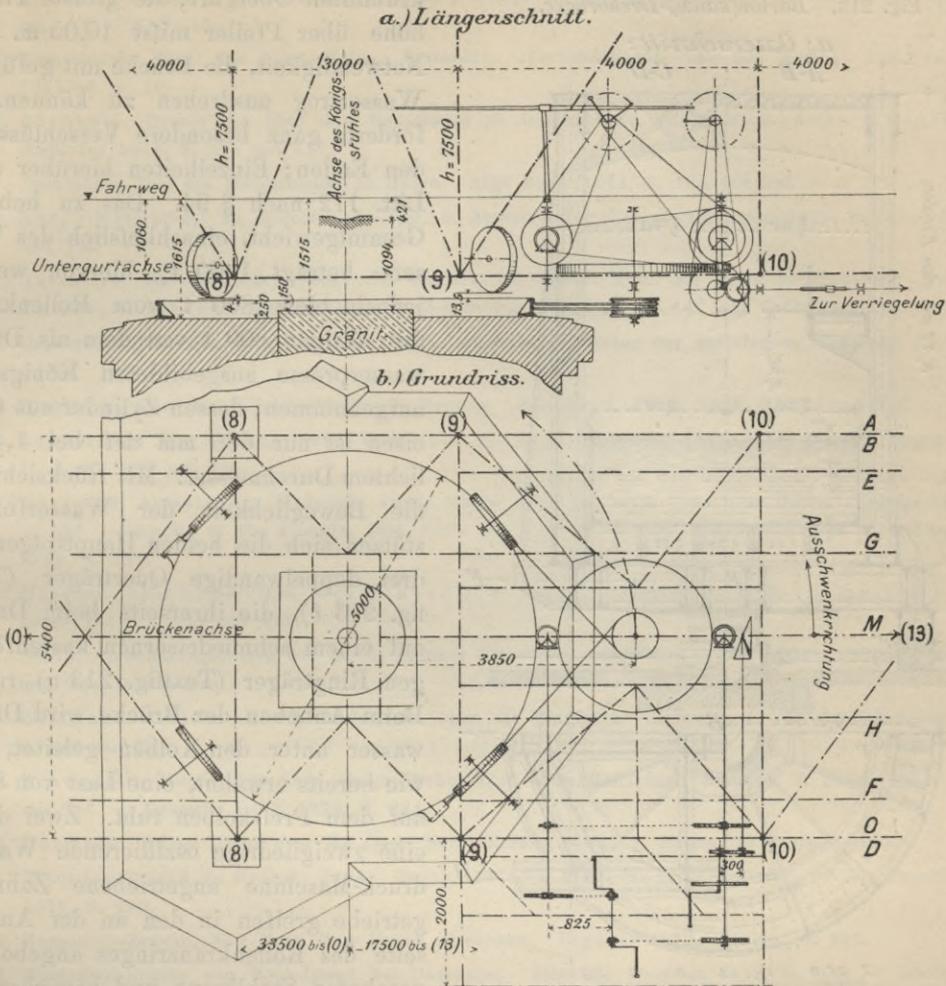


Fig. 212 a u. b. Übersicht des Bewegungsmechanismus der Drehbrücke über die untere Hafenmündung in Ludwigshafen. M. 1:100.

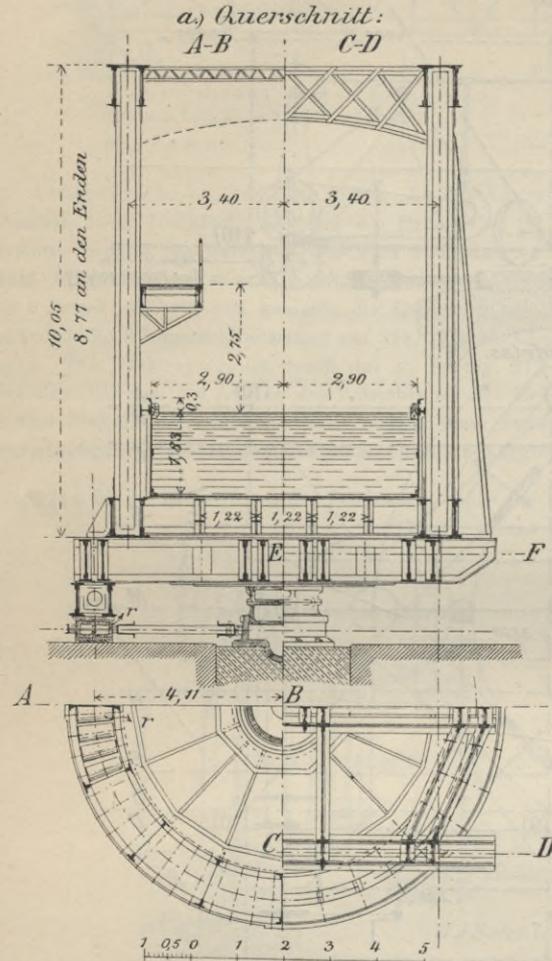


§ 93. Drehbrücke über den Weaverfluss in Winnington (England) (Taf. I, Fig. 7 bis 9). Diese für Straßenverkehr und ein Straßenbahngleis bestimmte Drehbrücke weicht in ihrer Ausgestaltung von allen bisher betrachteten Drehbrücken ab. Ihre Gesamtanordnung entsprang eigenartigen örtlichen Verhältnissen. Bezüglich der Drehbewegung wirkt sie als einarmige, bezüglich der Auflagerung als ungleicharmige Drehbrücke. Da kein besonderes Gegengewicht vorhanden, ruht das Hauptgewicht der geöffneten, 50 t schweren Brücke auf den beiden Rollwagen *W* (Taf. I, Fig. 7 u. 9). Der Drehwinkel beträgt 105° . Ein Elektromotor von $6\frac{1}{2}$ PS. bei 440 Volt Spannung und 750 Umdrehungen in der Minute öffnet die Brücke in $1\frac{1}{4}$ Minuten. Die Gesamtkosten, einschliesslich der anschließenden festen Brücke, Abschlusschranken, elektrisches Anlagen und Abtragen der alten Brücke betrug rd. 39000 M. (Litt. 150 nach § 94).

§ 94. Die Barton-Drehbrücke des Manchester-Schiffkanales (Textfig. 213). Sie ist die erste und unseres Wissens einzige der Schifffahrt dienende Drehbrücke. Die Schiffe können blofs mit niedergelegten Masten durchfahren, wobei die nutzbare Wasser-

tiefe nur 1,73 m beträgt. Der innere Leinpfad ist für Pferde begangbar. Die selbstverständlich gleicharmige Drehbrücke besitzt 71,67 m Länge, geraden Unter- und gekrümmten Obergurt; die größte Trägerhöhe über Pfeiler misst 10,05 m. Die

Fig. 213. Barton(kanal)-Drehbrücke.



Notwendigkeit, die Brücke mit gefülltem Wassertrog ausdrehen zu können, erforderte ganz besondere Verschlüsse an den Enden; Einzelheiten hierüber siehe Litt. 112 nach § 94. Das zu hebende Gesamtgewicht, einschliesslich des Wassers, beträgt 1600 t; hiervon werden jedoch blofs 800 t vom Rollenkranz, die übrigen 800 t von dem als Druckwasserpresse ausgebildeten Königsstuhl aufgenommen; dessen Zylinder aus Gußeisen ist nur 686 mm tief bei 1,46 m lichtigem Durchmesser. Mit Rücksicht auf die Beweglichkeit der Wasserfüllung stützen sich die beiden Hauptträger auf drei doppelwandige Querträger (Textfig. 213 b), die ihrerseits beim Drehen auf einem schmiedeisernen kastenförmigen Ringträger (Textfig. 213 a) ruhen. Beim Anheben der Brücke wird Druckwasser unter den Kolben geleitet, bis, wie bereits erwähnt, eine Last von 800 t auf dem Presskolben ruht. Zwei durch eine zweigliedrige oszillierende Wasserdruck-Maschine angetriebene Zahnradgetriebe greifen in den an der Außenseite des Rollenkranzringes angebolzten gezahnten Stahlkranz und bewirken die Drehung in beiläufig 1 Minute. An

den Brückenden steht je eine weitere Wasserdruck-Maschine zur Bedienung der Tore und Dichtungsleisten (siehe Fortschrittsheft S. 26 und Litt. 112 nach § 94).

(Vergl. auch das Kap.: Wasserleitungs- und Kanalbrücken, 4. Aufl. Bd. 2, S. 126.)

Litteratur

(zugleich nach der Zeitfolge geordneter Quellennachweis).¹⁸⁾

Drehbrücken betreffend.

1. Runde. Drehbrücke über die Geeste zwischen Geestemünde und Bremerhaven. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1856, S. 42 und 1859, S. 67 mit Taf. (vergl. No. 4).
2. Gans. Drehbrücke über den Papenburger Kanal. Organ f. Eisenbahnw. 1857, S. 116 mit Taf.
3. Pont tournant en tole en fers spéciaux. Nouv. ann. de la constr. 1858, S. 16 mit Taf.
4. Franzius. Drehbrücke über die Geeste zwischen Geestemünde und Bremerhaven. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1859, S. 67 mit Taf. (vergl. No. 1).

¹⁸⁾ Siehe Anm. 3, S. 18.

5. Malberg. Drehbrücke über den Berlin-Spandauer Schiffahrtskanal. *Zeitschr. f. Bauw.* 1860, S. 193 mit Taf.
6. Draaibruggen over de Lutterhoofdwijk, van de Dedemsvaart. *Verhandelingen van het koninkl. Inst. van Ing.* 1861/62, S. 15.³
7. Königsbrücke über den alten Hafen, Rotterdam. *Verhandelingen van het koninkl. Inst. van Ing.* 1861/62, S. 26.
8. Buchholz. Drehbrücke über den Hauptkanal zu Geestemünde. *Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover* 1864, S. 278 mit Taf.
9. Drehbrücke über die Dockschleuse zu Havre. *Allg. Bauz.* 1864, S. 148 mit Taf.
10. Berg. Weserbrücke zu Bremen. *Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover* 1869, S. 215, 429, 445 und Taf.
11. Aumaitre. Die Drehbrücke über die Penfeld bei Brest. *Ann. des ponts et chaussées. Serie IV, Bd. XIV, S. 265* (siehe auch *Zeitschr. d. österr. Ing.-Ver.* 1865, S. 117 mit Taf.).
12. Drehbrücke über den Spoy-Kanal bei Cleve. Erweiterungsbauten der rheinischen Eisenbahn von Hartwich. 1867.
13. Drehbrücke über den Sicherheitshafen zu Bremen. *Zeitschr. f. Bauw.* 1868, S. 354 mit Taf.
14. Armstrong. The hydraulic swing bridge over the Ouse. *Engineer* 1869, II. S. 95 und *Engng.* 1869, II. S. 95, 338 mit Taf.
15. Harrison, Armstrong. Hydraulic swing bridge over the river Ouse near Goole. *Engng.* 1869, II. S. 338. — *Journ. of the Franklin Inst. Serie III, Bd. 58, S. 239* aus *Proceedings of mechan. eng.* 1869, S. 121.
16. Häselser. Über Drehbrücken nach Schwedler's System. *Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover* 1869, S. 412 mit Abb.
17. Stein. Erweiterungsbauten der Berlin-Stettiner Eisenbahn, ausgeführt in den Jahren 1864—69 (Parnitz- und Oder-Drehbrücke).
18. Hoffmann. Smit's hölzerne Drehbrücke über die Ringfahrt. *Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing.* 1870, S. 318 mit Taf.
19. Schwedler. Mitteilungen über einige Drehbrücken ohne Rollkranz. *Zeitschr. f. Bauw.* 1871, S. 193 mit Taf. — *Deutsche Bauz.* 1871, S. 286.
20. Harrison. Swing bridge over the Ouse, North Eastern railway. *Engng.* 1871, II. S. 264.
21. Mississippi-Brücke zu Keokuk, Iowa. *Engng.* 1871, 1. Sem. S. 360. — *Journ. of the Franklin Inst.* 1872, S. 249.
22. Housatonic-Brücke, New York New Haven Eisenbahn. *Engineer* 1872, 1. Sem., S. 296.
23. Mississippi-Brücke von Rock-Island bei Davenport. *Scientific american* 1872, S. 100. — *Journ. of the Franklin Inst.* 1872, S. 6.
24. Drehbrücke im Binnenhafen Missiessy, Toulon. *Ann. des ponts et chaussées* 1872, 2. Sem. S. 269 mit Taf.
25. Frühling. Drehbrücke über die Weser-Schleuse in Hameln. *Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover* 1873, S. 378 mit Taf.
26. Pont levis ou tournant à volonté sur la passe de la Joliette à Marseille. *Notices sur les dessins, modèles et ouvrages relatifs aux travaux des ponts et chaussées et des mines, réunies par les soins du ministère des travaux publics. Exposition univers. à Vienne* 1873, S. 248.
27. Drehbrücke zu Providence. *Engng.* 1873, I. S. 202.
28. Viktoria-Brücke zu Leith. *Engng.* 1874, II. S. 433 mit Abb.
29. Drehbrücke über den Canal de la Radelle bei Aigues Mortes. *Ann. industr.* 1874, I. S. 198.
30. Shaler Smith. Draw-spans and their turntables. *Engng.* 1874, II. S. 407.
31. Havel-Brücken bei Potsdam und Werder. *Zeitschr. f. Bauw.* 1874, S. 135 mit Taf.
32. Victoria-Brücke zu Brisbane. *Engng.* 1875, II. S. 496 mit Abb.
33. Neue Maas-Brücke zu Rotterdam. *Zeitschr. f. Bauw.* 1875, S. 11 mit Taf.
34. Drehbrücke über den Canal de l'Oureq à la Villette. *Nouv. ann. de la constr.* 1875, S. 14.

35. Drehbrücke am Bassin national zu Marseille. Ann. des ponts et chaussées 1875, I. S. 413, 452 mit Taf. — Engineer 1878, Sept., S. 206, 210, 229 mit Abb.
36. Gleim. Über den amerikanischen Brückenbau der Neuzeit. Drehbrücken. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1876, S. 395 mit Taf.
37. Steiner. Über Brückenbauten in den Ver. Staaten von Nord-Amerika. Bericht über die Weltausstellung in Philadelphia 1876, S. 171, 197.
38. Erläuterungen zu dem Projekte der Drehbrücke über die Elbe bei Hohnstorf, gezeichnet Zimmermann und v. Bagh.
39. Drehbrücke innerhalb der Carlisle-Brücke in Dublin. Engineer 1877, I. S. 285 mit Abb.
40. Drehbrücke über den Verbindungskanal zwischen Rhein und Neckar in Mannheim. Becker's ausgeführte Konstruktionen des Ingenieurs, Heft 7.
41. Drehbrücke über die Memel bei Tilsit. Zeitschr. f. Bauw. 1878, S. 22, 363 mit Taf.
42. Drehbrücke des Rappersweiler Seedammes. Die Eisenbahn 1878, II. S. 88, 105 mit Abb.
43. Drehbrücke über den Pene-Strom bei Camp und Karnim. Samml. von Zeichn. f. d. Hütte 1878, Taf.
44. Pröll und Scharowsky. Neues Drehbrückensystem. Annalen f. Gewerbe u. Technik 1879, S. 157.
45. Blauel. Drehbrücke über die Parnitz (Breslau-Schweidnitz-Freiburger Eisenbahn). Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1879, S. 531 mit Taf.
46. Die Drehbrücken an den Docks im Hafen zu Antwerpen. Engng. 1879, II. S. 486.
47. Drehbrücke über die Kahnfahrt der Berlin-Stettiner Bahn. Zeitschr. f. Bauw. 1879, S. 359 mit Taf.
48. Drehbrücken in den Docks von Antwerpen. Engng. 1879, II. S. 486 mit Abb.
49. Pröll und Scharowsky. Drehbrückenkonstruktion. D. R.-Patent 10308, Klasse 19, 1880.
50. Drehbrücke über den Hafen zu Liebau. Riga'sche Industriez. 1880, S. 206—209.
51. Drehbrücke in der Harlem-Brücke in New York. Engng. 1880, II. S. 420.
52. Doppelarmige Strafsen-Drehbrücke über den Verbindungskanal zwischen Rhein und Neckar in Mannheim. Allg. Bauz. 1880, S. 26 mit Taf.
53. Drehbrücke der Docks in Barrow in Furness. Engng. 1880, II. S. 320. — Engineer 1880, II. S. 137 mit Abb.
54. Drehbrücke über die Kammerschleuse des Spoy-Kanals. Zeitschr. f. Bauw. 1881, S. 400 mit Taf.
55. Die Niederbaum-Brücke in Hamburg. Deutsche Bauz. 1881, S. 159 u. 170 mit Abb. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1882, S. 297, 361, 422 mit Taf. (Käferstein. Hydraulischer Drehmechanismus).
56. Über Drehbrücken mit hydraulischem Betrieb. Zentralbl. d. Bauverw. 1881, S. 186, aus den Ann. des travaux publics 1881, S. 260.
57. Barkhausen. Englische Drehbrücken. Zentralbl. d. Bauverw. 1882, S. 30 mit Abb. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1882, S. 401 mit Abb.
58. Harlem-River Bridge, New York. Engng. 1882, I. S. 497 mit Abb. — Wochenbl. f. Arch. u. Ing. 1883, S. 386 mit Abb.
59. Ohio-Brücke der Cincinnati-Southern Bahn bei Cincinnati. Allg. Bauz. 1882, S. 79 mit Abb. u. Taf.
60. J. Hofmann. Projekt für eine einarmige Strafsendrehbrücke. Prakt. Maschinen-Konstr. 1882, S. 302 mit Tafeln.
61. Eisenbahndrehbrücke im Hafen zu Pola. Wochenbl. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1884, S. 326.
62. Swing bridge over the Ouse, Hull and Barnsley Railway. Engineer 1884, I. S. 75, 260, 265 mit Abb.
63. Pont tournant du chemin de fer sur Masnedesund entre les îles de Falster et de Seeland (Danemark). Le génie civil 1885, II. S. 326 mit Taf. — Umland's Wochenschr. f. Industrie u. Technik 1887, S. 294 mit Abb.
64. Pont tournant d'Aubervillers (Canal Saint-Denis). Ann. des ponts et chaussées 1886, I. S. 755 u. 772 mit Taf.
65. Drehbrücke am Bauhafen in Swinemünde. Bericht über eine bauwissenschaftliche Studienreise nach der Pommerschen Küste, ausgeführt unter der Leitung des Geh. Oberbaurats L. Hagen, 1885. Berlin 1887.
- *66. Drehbrücke über den Mund des Rheinhafens zu Mainz. Der Zoll- und Binnenhafen zu Mainz (Festschrift). Mainz 1887, S. 82 mit Abb. (vergl. Fortschrittsheft Litt. 2, S. 49).

- *67. Pont tournant d'Arene de Marseille. Génie civil 1886/87, Bd. 10, S. 87. Lebris 1894. Les constructions métalliques S. 248.
- *68. Le nouveau pont tournant de la baie de Newark. Génie civil 1887, Bd. 11, S. 201 mit Abb.
- *69. Pont tournant de l'Abattoir. Port de Marseille. Portef. économ. des mach. — Oppermann 1887, S. 177 mit Taf. 47—49.
- *70. Crugnola. Drehbrücke im Hafen von Tarent 1888. Nouv. ann. de la constr. 1888, S. 1 mit Taf. — Glaser's Ann. 1890, Bd. 27, S. 42 mit Abb. u. Taf. — Schweiz. Bauz. 1890, Bd. 15 S. 62 mit Taf.
- *71. Drehbrücke über den St. Louis-Strom bei Duluth. Deutsche Bauz. 1888, S. 135 mit Abb.
- *72. Tientsin swing bridge. China railways. Engineer 1888, I. S. 89 u. 154 mit Abb.
- *73. Howe truss timber across the Willamette river (Oregon). Engng. 1888, I. S. 9 mit Abb.
- *74. The Kentucky and Indiana bridge. Engng. 1888, I. S. 85 mit Abb.
- *75. Pont tournant de Castletown (île de Man). Génie civil 1888, Bd. 13, S. 119 mit Abb.
- *76. Drehbrücke im Hafen von New York. Railroad Gaz. 1888, S. 399.
- *77. Drehbrücke der Erie-See-Eisenbahn über den Hackensack-Flufs. Railroad Gaz. 1888, S. 469.
78. Henket, Schols en Telders. Waterbouwkunde 1888, 3. Teil, XIV. Abschn. mit Taf. 8 bis 20 u. 36, Drehbrücken betreffend.
- *79. Janssen. Drehbrücke über die Peene bei Loitz. Zeitschr. f. Bauw. 1889, S. 229 mit Taf.
- *80. Die Hawarden-Drehbrücke über den Deeflufs. Engineer 1889, II. S. 428 u. 452 mit Abb. — Génie civil 1888/89, Bd. 16, S. 92 mit Abb.; 1893, Bd. 23, S. 23 mit Taf. — Engng. news 1892, II. S. 246 mit Abb. — Nouv. ann. de la constr. 1893, S. 33 mit Taf. — Lebris. Le constr. métalliques 1894, S. 247 mit Abb. — M. Foerster. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1897, S. 530 mit Abb.
- *81. The fort Madison bridge across the Mississippi (Jowa). Engng. 1889, II. S. 73 mit Taf.
- *82. The new harbour works at Calais. Vier ungleicharmige Strafsendrehbrücken. Engng. 1889, I. S. 607 mit Abb.
- *83. Barret'sche Drehbrücke im Bassin Bellot in Havre. Engng. 1889, II. S. 538 mit Abb. — Ann. des ponts et chaussées 1889, I. S. 35 mit Taf. — Glaser's Ann. 1890, Bd. 27, S. 28 mit Abb. und Taf.
- *84. The Drypool swing bridge, Hull. Engineer 1890, I. S. 4 mit Abb. — Génie civil 1889/90, Bd. 16, S. 327 mit Taf.
- *85. A. Boller. Die Brücke über den Themseflufs in Neu London (Conn.). Monographie ohne Jahreszahl mit 12 Taf. < Génie civil 1889, Bd. 15, S. 261 mit Abb. — (Beschreibung der Gründung), Railroad Gaz. 1900, S. 763 mit Abb. — Lebris. Les constr. métalliques 1894, S. 249 mit Abb.
- *86. Eine Drehbrücke mit elektrischem Betrieb. Glaser's Ann. 1890, Bd. 26, S. 191. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahn-Verw. 1890, S. 452.
- *87. Kemmann. Die Kanalbrücke bei den St. Mary-Fällen (N.-A.). Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 477 mit Abb. u. Taf.
- *88. Dreessen, Magens und Lesser. Eisenbahndrehbrücke über die Eider bei Friedrichstadt. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1890, S. 585 mit Taf.
- *89. Weyrich. Die Baakenbrücke über den Magdeburger Hafen in Hamburg. Glaser's Ann. 1890, Bd. 27, S. 45 mit Abb. u. Taf. — Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1895, S. 279 mit Abb. u. Taf. — Génie civil 1895/96, Bd. 28, S. 390 mit Abb. u. Taf.
- *90. Die größte Drehbrücke im Hafen von New York. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S. 257 ohne Abb.
- *91. The swing span and pivot pier of the Coteau bridge (U. S.). Engng. news 1891, I. S. 524 mit Taf.
- *92. Swing span of the Winona bridge (Mississippi river). Engng. news 1891, II. S. 370 mit Taf.
- *93. Alexandre. Note sur la pont tournant de Pollet (Dieppe). Ann. des ponts et chaussées 1891, II. S. 584 mit Taf. — Engineer 1892, II. S. 95, 134, 148 u. 218 mit Abb. — Ann. industr. 1892, I. S. 391, 453, 484 u. 517 mit Abb. u. Taf. — Railroad Gaz. 1892, S. 631 mit Abb. — Génie civil 1893, Bd. 23, S. 33 mit Abb. u. Taf. — M. Foerster. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1897, S. 531 mit Abb.
- *94. M. am Ende. Swing bridge over the Glamorganshire canal. Engineer 1891, II. S. 105 mit Abb. — Génie civil 1891, Bd. 19, S. 324 mit Taf.

- *95. G. Morison. Bridge over the Snake river at Riparia (Washington). Engng. 1891, II. S. 526 mit Abb.
- *96. The Clarence bridge at Cardiff (South Wales). Engng. 1891, I. S. 127, 185, 276, 332 u. 349 mit Abb. u. Taf. — Engng. news 1891, I. S. 259 ohne Abb.
- *97. The Manchester ship canal. Strafsendrehbrücke bei Moorelane. Engng. 1891, I. S. 188 mit Abb. (vergl. auch Litt. No. 112).
- *98. Lippmann. Pont et bassin du Sporweghaven (Holland). (Reisebericht über eine Strafsendrehbrücke.) Mém. de la soc. des ing. civ. 1891, II. S. 700 u. 926 mit Taf.
- *99. The Liverpool overhead railway. Engng. 1891, II. S. 741 mit Abb. u. Taf. (vergl. auch Litt. No. 17, S. 86).
- *100. Competitive designs for a draw bridge over the Duluth ship canal. Engng. news 1892, II. S. 390 mit Taf. — Génie civil 1892/93, Bd. 22, S. 101 mit Taf.
- *101. A. Oelwein. Drehbrücke im Hafen von Bregenz. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1892, S. 298 mit Taf.
- *102. Harlem river bridge at 155. street, New York. Engng. news 1892, I. S. 256 mit Abb.; 1893, II. S. 199 mit Abb. — Railroad Gaz. 1893, S. 20 mit Abb.; 1895, S. 202. — Zentralbl. d. Bauverw. 1893, S. 465 mit Abb.
- *103. The Darling harbor bridge competition at Sidney. Engng. news 1892, II. S. 298; 1893, I. S. 141 m. Abb.
- *104. Plate girder draw over the Dismal swamp canal. Engng. news 1892, II. S. 417 mit Abb. und Taf.
- *105. Hölzerne Drehbrücke der Canadian Pacific Eisenbahn. Railroad Gaz. 1892, S. 873 mit Abb.
- *106. The Madison street bridge. Railroad Gaz. 1892, S. 189 mit Taf.
- *107. Swing bridge for Kidderpore docks (Calcutta). Engineer 1892, I. S. 350 mit Abb.
- *108. The 520' span Interstate bridge (Omaha). Engng. news 1893, II. S. 225, 410 u. 448 mit Abb. u. Taf.; 1894, I. S. 316 mit Abb. — Reisebericht von Steiner. Techn. Blätter 1895, S. 173 mit Abb.
- *109. The Harlem four-track draw bridge. New York Central and Hudson-River Eisenbahn. Engng. news 1893, I. S. 559 u. II. S. 167 u. 198 mit Abb. — Railroad Gaz. 1893, S. 602 mit Abb. — Engng. record 1896, I. S. 133, 184 u. 221 mit Abb. — M. Foerster. Zeitschr. d. Arch. u. Ing.-Ver. zu Hannover 1897, S. 516 mit Abb.
- *110. The third Avenue bridge over the Harlem river. Railroad Gaz. 1893, S. 684 mit Abb.; 1895, S. 324. — Engng. news 1893 I. S. 559 und II. S. 167 mit Abb. (Pfeilergründung).
- *111. W. Ritter. Weltausstellungsbericht. Der Brückenbau in den Vereinigten Staaten Amerikas 1894, S. 65.
- *112. The Manchester ship canal; VII. The opening bridges; VIII. Barton swing aqueduct. Engng. 1894, I. S. 116 mit Abb. u. Taf. — Deutsche Bauz. 1894, S. 407 mit Abb. (vergl. auch Litt. No. 97).
- *113. A 182' (= 55,47 m) span plate girder swing bridge. Engng. news 1894, II. S. 65 mit Taf.
- *114. G. Lebris. Pont tournant sur la Williamette. Les constructions métalliques 1894, S. 251 mit Abb.
- *115. West India dock improvement works. Umbau einer ungleicharmigen Drehbrücke. Engng. 1894, II. S. 539 mit Abb.
- *116. M. H. Warren. Engineering construction in iron, steel and timber. 1894, S. 322 bis 332 mit 4 Taf.
- *117. Paterson. Plate girder swing bridge over the Bronx river, New York City. Engng. news 1895, I. S. 2 mit Abb. u. Taf.
- *118. Double swing bridge at Columbus (Cleveland). Engng. news 1895, II. S. 82 mit Abb. u. Taf.
- *119. The new Delaware river bridge of the Pennsylvania Railroad. Railroad Gaz. 1895, S. 216 u. 550 mit Abb.
- *120. Die Drehbrücken des Nord-Ostsee-Kanals (Kaiser Wilhelm-Kanal). Loewe. Festschr. zur Kanal-Eröffnung 1895, S. 30 mit Taf. 14 u. 15. — Stahl und Eisen 1895, I. S. 190 mit Abb. u. Taf. — Deutsche Bauz. 1895, S. 173 mit Abb. — Zentralbl. d. Bauverw. 1895, S. 272 mit Abb. — Zeitschr. f. Bauw. 1896, S. 69 mit Abb. u. Taf. 14 bis 17. — Engng. 1895, II. S. 234 mit Taf. — Engineer 1895, II. S. 127 mit Abb.
- *121. Beyerhaus. Drehbrücke mit Druckwasserbetrieb im Ruhrorter Hafen. Zeitschr. f. Bauw. 1895, S. 537 mit Taf.
- *122. Sympher. Prahm-Drehbrücke in Holtenu. Zentralbl. d. Bauverw. 1895, S. 273 ohne Abb. (vergl. Litt. No. 125).
- *123. Schelten. Drehbrücke über die Lothse bei Harburg. Zeitschr. f. Bauw. 1896, S. 275 mit Taf.

- *124. Swing bridge in the port of Marseille (de la Joliette). Engng. 1896, I. S. 709 mit Abb.
125. Schultz u. Fülischer. Der Bau des Kaiser Wilhelm-Kanals 1898/99. α) Prahmdrehbrücke I. S. 22 u. II. S. 117 mit Abb. — β) Pontondrehbrücke I. S. 52 mit Abb. u. Taf. — γ) Eisenbahndrehbrücke bei Osterrönfeld II. S. 92 mit Taf. 46 bis 48 u. Abb. — δ) Straßendrehbrücke bei Rendsburg II. S. 113 mit Taf. 49 u. 50. — ε) Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl II. S. 114 mit Taf. 49 bis 51.
126. Fülischer. Der Bau des Kaiser Wilhelm-Kanals. Zeitschr. f. Bauw. 1899, S. 99, 269 u. 425 mit Abb. und Taf.
127. Drehbrücke über den Harlemflufs. Engng. record 1895/96, Bd. 33, S. 133, 184 u. 221 mit Abb.; 1896, Bd. 34, S. 272 mit Abb. — Engng. 1898, II. S. 743 mit Abb. u. Taf.
128. Die Konstruktion von Drehbrücken. Engng. record 1896, Bd. 34, S. 362 mit Abb.; 1898, Bd. 37, S. 6, 51, 316 u. 360 mit Abb.
129. Zweigeschossige Eisenbahn- und Straßendrehbrücke auf Rock-Island. Engng. news 1896 II. S. 406 mit Abb. — Engng. record 1897, I. S. 181 mit Abb.; 1898, Bd. 37, S. 384 u. 558 mit Abb. — Engng. 1898, II. S. 370 mit Abb.
130. Fourth street bridge over the Passaic river at Newark. Engng. record 1897, Bd. 35, S. 466 mit Abb.; 1898, Bd. 38, S. 204 mit Abb.
131. Eisenbahndrehbrücken über den Entwässerungskanal von Chicago. Engng. record 1897, Bd. 36, S. 469 mit Abb.; 1898, Bd. 37, S. 339 mit Abb. — Engng. news 1897, II. S. 363 mit Abb.
132. Drehbrücke bei Selby, North-Eastern Eisenbahn. Proc. Inst. civ. Engng. 1897, Bd. 128, S. 207—221 mit Abb. u. Taf.
133. A. Rudolph. Drehbrücke über die Flossschleuse (Regulierung der Weichselmündung). Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1897, S. 281 mit Abb.
134. Kruckenberg. Die hydraulischen Einrichtungen für die Drehbrücken im neuen Hafen zu Lübeck. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1897, S. 1017 mit Abb. u. Taf.
135. Die neue Faidherbe-Brücke in St. Louis (Senegal). Génie civil 1897, II. S. 401 mit Abb.
136. Woodworth. Einige Neuerungen in der Konstruktion von Drehbrücken. Engng. news 1898, I. S. 417 mit Abb.
137. Ch. H. Wright. Ein neueres Beispiel einer selbsttätig sich riegelnden Antriebsvorrichtung für eine Drehbrücke. Engng. news 1898, II. S. 6 mit Abb.
138. C. Gerlach. Die neuen Hafen- und Werftanlagen der Stadt Köln (Drehbrücke über die Mündung des Rheinauhafens). Südd. Bauz. 1898, S. 195 mit Abb.
139. Ch. Piéns. Le pont tournant de Dudzule sur le canal maritime de Bruges. Ann. trav. publ. Belg. 1899, S. 237 mit Abb.
140. Auswechslung einer 350 t durch eine 600 t schwere neue Drehbrücke für die Pennsylvania Eisenbahn. Iron age 1899, 27. VII. S. 1 mit Abb.
141. The Greenpoint Avenue Bridge. Engng. record 1899, Bd. 39, S. 509 mit Abb.
142. Electric draw turning Hamilton Avenue bridge (Brooklyn). Engng. record 1899, Bd. 40, S. 105 mit Abb.
143. Swing bridges over the river Weaver at Northwich. Proc. Inst. civil Ing. 1900, Bd. 140, S. 72 u. 85 mit Taf. — Engineer 1900, I. S. 104 ohne Abb. — Zentralbl. d. Bauverw. 1903, S. 180 mit Abb.
144. The Davenport and Rock Island bridge over the Mississippi river. Engng. news 1900, I. S. 26 m. Abb.
145. A 175' counterbalanced plate-girder swing bridge. Engng. news 1900, I. S. 255 mit Abb. u. Taf.
146. The Spuyten Duyvil bridge, New York-Central and Hudson railway. Engng. news 1900, I. S. 397 mit Abb. u. Taf.
147. Operating mechanism Duluth and Superior swing bridge. Engng. record 1900, Bd. 41, S. 183 u. 587 mit Abb.
148. The Passaic river draw bridge. Engng. record 1900, Bd. 41, S. 611 mit Abb.
149. Bernhard. Die Drehbrücke „Neuhof“ über den Reiherstieg bei Hamburg. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1900, S. 1415 u. 1458 mit Abb.
150. Opening-bridge over the flood-course of Winnington. Engng. 1901, II. S. 863 mit Abb.
151. Aber swing bridge, Carnarvon. Engineer 1901, II. S. 126 mit Abb.

152. Converting a fixed span into a swing span. Engng. news 1901, I. S. 42 mit Abb.
153. The Charlestown swing bridge, Boston. Engng. news 1901, I. S. 61 mit Abb. — Engng. record 1901, I. S. 122 mit Abb.
154. Riveted lattice truss draw bridge, Chicago and Northwestern-Railway. Engng. news 1901, II. S. 84 ohne Abb.
155. Four track two-truss swing bridge (Bahnbrücke). Engng. news 1901, II. S. 171 mit Abb.
156. Plate girder draw bridge. Engng. record 1901, II. S. 281 mit Abb.
157. The little Calumet river draw bridge. Engng. record 1901, II. S. 617 mit Abb.
158. Nicht kontinuierliche Drehbrücken. Zeitschr. d. Ver. deutscher Eisenbahnverw. 1902, S. 528 u. 744; aus Engng. news 1902, I. S. 168 u. 284 mit Abb.
159. Ponton foot bridge over the Chicago river. Engng. news 1902, II. S. 125 mit Abb.
160. Fr. van Winkle. A 128' wooden swing bridge over Barnegat Bay. Engng. news 1902, II. S. 444 mit Abb.
161. Neue Drehbrückenöffnung für die Interstate-Brücke über den Missouri in Omaha. Engng. record 1903, I. S. 98 mit Abb. — Engng. news 1903, I. S. 85.
162. A novel type of draw bridge. Engng. news 1903, II. S. 372 mit Abb.
163. New swing bridge over the Amsterdam canal. Engineer 1903, II. S. 287 mit Abb.
164. Waight. The reconstruction of Rye swing bridge. Engng. 1904, II. S. 58 u. 129 mit Abb.
165. Pivot pier caisson and operating machinery for a heavy swing bridge. Engng. news 1904, I. S. 5 m. Abb.

Über einzelne Teile der Drehbrücken.

166. Michaelis. Hydraulic opzettoestel voor draaibruggen. Verhandelingen van het koninkl. Inst. van Ing. 1870, S. 300.
167. Müller. Opzettoestel voor spoorweg draaibruggen. Verhandelingen van het koninkl. Inst. van Ing. 1870/71, S. 205.
168. van Hasselt. Unterstützung des Drehzapfens mittels äquilibrirter Hebel. Verhandelingen van het koninkl. Inst. van Ing. 1872/73. Lief. III, Notulen, S. 32.
169. Waller. Opzettoestel van de draaibrug over de Koningshaven te Rotterdam. Tijdschr. van het koninkl. Inst. van Ing. 1876/77.
170. Über Konstruktion der Aufsetzvorrichtung für bewegliche Brücken, insbesondere für Drehbrücken. 6. Supplementband z. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1878, S. 106 mit Taf.
171. Über hydraulische Vorrichtungen u. s. w. zur Bewegung von beweglichen Brücken, insbesondere Drehbrücken. Dasselbst S. 108.
172. Über die Verbindung eines Brückendeckungs- bzw. Abstandssignals mit dem zugehörigen Zughebel u. s. w., wenn dieses Signal von dem Standpunkte des betreffenden Wärters durch die Drehbrücke getrennt ist, u. s. w. Dasselbst S. 109.
173. A. Ringel. Neuerungen am Bewegungsmechanismus von Drehbrücken. Deutsches Reichspatent No. 5624. 1879, 16. Juni.
174. Barret. Appareils hydrauliques pour la manoeuvre des ponts mobiles. Bulletin de la société scientifique de Marseille 1879, III.
 Referat über vorstehenden Aufsatz in den Mémoires des ingénieurs civils 1880, II. S. 526.
 Ferner über diesen Gegenstand in H. Schemfil. Die neuesten Kanal- und Hafen-Werkzeuge in Frankreich und England. Wien 1882, und J. Hofmann. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1884, S. 493.
175. Grossley Brothers. Turning gear for Swing bridges. Engng. 1881, I. S. 452.
176. H. N. Dufour. Beveiliging der beweegbare bruggen over de Oude Maas bij Dordrecht. Verhandelingen van het koninkl. Inst van Ing. 1883, S. 137 mit Tafeln.
177. Mechanische Abhängigkeit zwischen Bahnhofs-Abschluss-Telegraph und Drehbrücke bei Spandau. Zentralbl. d. Bauverw. 1884, S. 153 mit Abb.
178. J. Schroeder van der Kolk. Beschrijving van het opzettoestellen der draaibruggen in den Staats-spoorweg van Zaandam naar Hoorn. Tijdschr. van het koninkl. Inst. van Ing. 1886/87 u. Taf. 38—41.

- *179. Eine selbsttätige Drehbrücke. Zentralbl. d. Bauverw. 1888, S. 518 mit Abb.
- *180. Richou. Portès de garde du pont tournant de Point street à Providence. Génie civil 1889, Bd. 15, S. 210 mit Taf.
- *181. Draw bridge interlocking. Railroad gaz. 1890, S. 20 mit Abb.
- *182. Signaling and interlocking of the Thames river draw bridge. Railroad gaz. 1890, S. 106 mit Abb.
- *183. Three lever machine for signaling and locking draw bridges. Railroad gaz. 1890, S. 768 mit Abb.
- *184. Appareil hydraulique pour la manoevre d'un pont tournant à Gand. Génie civil 1890/91, Bd. 18, S. 247 u. Taf.
- *185. Lademann. Vorrichtung eines genauen Schlusses der Drehbrücke bei Camp-Carnin. Zentralbl. d. Bauverw. 1891, S. 362 mit Abb. (Fortschrittsheft Fig. 23, S. 21).
- *186. Carrying a cable railway across a draw bridge. Engng. news 1891, II. S. 269 mit Abb. (Fortschrittsheft Fig. 54, S. 40).
- *187. Swinging draw bridge by electricity. Railroad gaz. 1901, S. 578 mit Abb.
- *188. Schnebel. Eisenbahnbrücke über den Deimeflufs. Zentralbl. d. Bauverw. 1892, S. 333 mit Abb.
- *189. Turner and Warner. End adjusting gear for draw bridge. Engng. news 1892, I. S. 386 u. 458 mit Abb. (Fortschrittsheft Fig. 52 u. 53, S. 39).
- *190. Pont tournant de Duffel. Revue gén. des chemins de fer 1892, I. S. 160 mit Abb.
- *191. The third Avenue bridge over the Harlem river (Pfeilergründung). Railroad gaz. 1893, S. 684 m. Abb. u. 1895, S. 324. — Engng. news 1893, I. S. 559 u. II. S. 167 m. Abb. (Fortschrittsheft Fig. 41 u. 42, S. 34).
- *192. An automatic and Catch for swing bridge. Engng. news 1893, II. S. 118 mit Abb. — Zentralbl. d. Bauverw. 1893, S. 400 mit Abb. (Fortschrittsheft Fig. 51, S. 39).
- *193. Turning and lift machinery for 450' swing span (Alton bridge). Engng. news 1894, I. S. 488 mit Taf. und 1896, II. S. 457 (Fortschrittsheft Fig. 48, S. 37).
- *194. Pneumatische Gründung des Pfeilers einer Drehbrücke über den Nordseekanal (Holland). Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1894, S. 1076 mit Abb.
- *195. Machinery for operating à 247' swing bridge by a Pelton wheel. Engng. news 1894, II. S. 266 mit Taf. (Fortschrittsheft Fig. 49, S. 38).
- *196. Eine neue Endhebevorrichtung für Drehbrücken. Zentralbl. d. Bauverw. 1894, S. 43 mit Abb. — Railroad gaz. 1893, S. 865.
- *197. Riegelvorrichtung an Drehbrücken. Zentralbl. d. Bauverw. 1894, S. 490 mit Abb. (Fortschrittsheft Fig. 60, S. 49).
198. H. G. Tyrell. An interlocking mechanically operated draw bridge gate (Abschlufsschranke). Engng. 1900, II. S. 452 mit Abb.
199. The South St. Paul Belt railway bridge. Verriegelungs- und Endhebevorrichtungen. Engng. record 1901, II. S. 515 mit Abb.
200. Burke. Drehvorrichtung, Signalisierung und Endhebung einer Drehbrücke der Rutland-Canadian Eisenbahn. Engng. news 1903, I. S. 46 mit Abb.
201. The Merrimac river drawbridge. Newburyport (Mass.) Engng. record 1904, II. S. 218 u. 726 mit Abb.
202. Jones. Elektrischer Antrieb der beiden Globe-Island-Drehbrücken. Elektr. Bahnen u. Betrieb 1905, S. 277 mit Abb.
203. Moeller. A new swing bridge at Copenhagen. American society of civ. eng. (Papers) 1905, S. 148, mit 2 Taf.
204. Cartlidge. The design of swing bridges from a maintenance standpoint. Engng. news 1906, I. S. 464 mit Abb.
205. van Loenen-Martinet u. Dufour. Die Bewegungseinrichtungen der neuen Eisenbahnbrücke über den Nordsee-Kanal. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1906, S. 1009 mit Abb.
206. Bewegliche Brücken. Album der vereinigten Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg, A.-G., Werk Gustavsburg.

Zusammenstellung verschiedener Angaben

A. Brücken für Eisenbahn- beziehentlich für Eisenbahn- und

No.	O r t	Bestimmung	Anzahl		Trägerlänge m	Armlängen m	Lichtweiten m	Gesamt- breite m
			Durchfahrt	Teile				
1	Raritan-Brücke, Amboy, New Jersey	Eingleisig	2	1	143,86	2 × 71,93	2 × 65,9	5,34
2	Mississippi-Brücke, Keokuk, Jowa	Zweingleisig	2	1	114,70	2 × 57,35	2 × 48,8	6,10
3	Missouri Brücke, Atchison	Eingleisig	2	1	112,80	2 × 56,40	2 × 48,8	—
4	Missouri-Brücke, Rock- Island	Eisenb. oben, Strafse unten	2	1	112,24	2 × 56,12	2 × 48,8	6,10
5	Hudson-Brücke, Albany, New York	Zweingleisig	2	1	83,57	2 × 41,78	2 × 34,16	8,54
6	Ouse-Brücke der Hull- Barnsley-Eisenbahn	Zweingleisig	2	1	75,6	2 × 37,80	2 × 30,5	—
7	Viktoria-Brücke, Leith	Zweingleisig und Strafse	1	1	65,2	44,8 u. 20,4	36,6	11,90
8	Harlem-Brücke, New York	Zweingleisig	2	1	91,5	2 × 45,75	2 × 30,5	12,2
9	Ouse-Brücke bei Goole	Zweingleisig	2	1	76,0	—	2 × 30,5	10,86
10	Duke-Street, Birkenhead	Eisenbahn	1	1	54,90	—	30,5	12,81
11	Passaic-Brücke, Newark, N. J.	Zweingleisig	2	1	76,7	—	2 × 28,4	—
12	Passe Missiessy, Toulon	Eingleisig	2	1	52,00	33 u. 19	32 u. 14	7,00
13	Bassin national, Marseille	Eingleisig und Strafse	1	1	62,00	38,4 u. 23,6	28,0	16,00
14	Königshafen, Fijenoord Rotterdam	Zweingleisig	2	1	53,8	2 × 26,9	2 × 21,0	6,88
15	Maas-Brücke, Dordrecht	Zweingleisig	2	1	53,64	2 × 26,82	2 × 21,0	7,0
16	Nordseekanal, Zaandam.	Zweingleisig	2	1	49,74	2 × 24,1	2 × 21,0	5,5
17	Bassin Joliette, Marseille	Eisenbahn und Strafse	1	1	42,9	27,14 u. 14,56	21,3	8,0

über einige ausgeführte Drehbrücken.

Straßenverkehr. (I. Ältere Ausführungen, nach Lichtweiten geordnet.)

Trägerform	Trägerhöhe m	Gewicht der bewegl. Teile in Tonnen	Bewegungskraft	Bemerkungen	Litt. No.
Trapezträger, Fach- werk	9,15—12,20	501 t engl.	Dampf und Wasser	Siehe Textfig. 122, S. 118. Erbaut 1875. Druck auf dem Zapfen, hauptsächlich aber auf 80 Rollen von 0,59 m Durchmesser und 0,80 m Breite. Rollkranz-Durchmesser 10,68 m.	78
Abgestumpfter Para- belträger, Fachwerk	8,54—10,37	403 t engl.	Dampf	Erbaut 1870. Der Drehzapfen trägt $\frac{2}{3}$ bis $\frac{3}{4}$ der Last. — Rollkranz von 9,6 bis 10,7 m Durchmesser. — Gufseiserne Rollen von 0,61 bis 0,96 m Durchmesser und 0,15 bis 0,25 m Breite, wobei 248 kg Druck auf 1 cm Rollenbreite. —	21
Trapezträger, Fach- werk	9,00—11,60	—	—	Erbaut 1874. —	—
Parallelträger, Fach- werk	10,68	701 t engl.	Dampf	Erbaut 1873. —	—
Desgl.	6,71	377 t engl.	Dampf	Erbaut 1868. —	—
Abgestumpfter Para- belträger, Fachwerk	Größte Höhe 6,45	649 t engl.	—	Mit Rollkranz. —	62
Desgl.	8,23—2,13	620 t engl.	Wasser	Erbaut 1874. Drehzapfen mit Druckwasser gehoben. Das schwerere Hinterende auf zwei Laufrädern von 0,76 m Durchmesser.	28
Fachwerkträger	6,0—12,2	—	Wasser	Rollkranz von 7,8 m Durchmesser. — 56 konische Rollen von 0,4 m größtem Durchmesser.	51
Abgestumpfter Para- belträger, Blechträg.	1,20—5,03	670 t engl.	Wasser	Erbaut 1869. — Last auf Rollkranz von 9,2 m Durchmesser. — 36 Rollen von 0,92 m Durchmesser und 0,31 m Breite.	15
Blechträger mit zwei Hängestangen nach einem Ständer in der Mitte	Blechträger 2,14 hoch	700 t engl.	Wasser	Last auf 16 Rollen von 1,53 m Durchmesser. 3 Stützräder am Hinterende.	—
Parallelträger, Fach- werk	6,71	—	—	Bahn unten; 3 Hauptträger.	—
Abgestumpfter Para- bel-Blechträger	Größte Höhe 3,00	Gegengewicht 70	Hand	Last auf Zapfen u. Rollkranz. — 2 Mann öffnen in 10 Minuten.	24
Abgestumpfter Para- bel-Gitterträger	1,5—3,75	700	Wasser	Siehe Textfig. 106, S. 111. — 3 Hauptträger. — Mit Wasserdruck zu hebender Zapfen. — Am schweren Hinterende 3 Laufräder, welche je 5 t Druck erhalten.	35
Abgestumpfter Para- belträger, Fachwerk	1,04—2,6	Stahl 132,6 t Schweißseisen 53,0 Gufseisen 9,3 u. 12 cbm Holz	Hand	Siehe Textfig. 104, S. 110. — Last auf dem Zapfen. — 4 Hauptträger in 1,51 m — 2,09 m — 1,51 m Abstand. Gewichtsangabe nach der Ausschreibung von 1871.	78
Desgl.	1,04—2,6	Stahl 103,5 t Schweißseisen 51,6 Gufseisen 1,8	Hand	Wie No. 14.	78
—	1,50—3,02	Stahl 91,7 t Schweißseisen 6,8 13,4 cbm Holz	Hand	Gewicht nach der Ausschreibung von 1873.	78
Parallelträger, Fach- werk	2,62	260 t zu hebende Last	Wasser 52 Atmosph.	Siehe Textfig. 121, S. 115. Mit Wasserdruck zu hebender Zapfen. Wenn um 0,9 m gehoben, so braucht die Brücke für Durchlassen von Kähnen nicht geöffnet zu werden. Schwereres Hinterende auf Rädern.	26

No	Ort	Bestimmung	Anzahl		Trägerlänge m	Armlängen m	Lichtweiten m	Gesamt- breite m
			Durchfahr- t	Teile				
18	Große Weser, Bremen	Zweigleisig	2	1	47,7	2 × 23,84	2 × 18,24	13,18
19	Masned Sund, zwischen Falstern und Seeland	Eingleisig	2	1	45,0	2 × 22,3	2 × 18,0	4,9
20	Ouse-Brücke, North-Eastern Eisenbahn	Zweigleisig	2	1	53,68	—	2 × 18,9	—
21	Peene-Brücke bei Kamp, Berlin-Stettiner Eisenbahn	Eingleisig	2	1	43,90	21,1 u. 22,8	2 × 16,70	3,95
22	Oder-Brücke der Berlin-Stettiner Eisenbahn	Zweigleisig	2	1	45,2	22,61 u. 22,14	2 × 16,3	—
23	Parnitz-Brücke der Berlin-Freiburg-Schweidnitzer Eisenbahn	Zweigleisig	2	1	38,2	19,95 u. 18,25	2 × 14,3	6,55
24	Elbebrücke Hohnstorf	Zweigleisig	2	1	38,6	2 × 18,8	2 × 14	9,16
25	Drehbrücke im Ruppertsweiler Seedamme, Schweiz	Eisenbahn und Strafe	2	1	40,0	2 × 20,0	2 × 13,30	—
26	Memel-Brücke, Tilsit	Zweigleisig	2	1	35,5	2 × 17,75	2 × 13,45	8,00
27	Kahnfahrt-Brücke, Berlin-Stettiner Eisenbahn	Zweigleisig	2	1	35,7	17,90 u. 17,34	2 × 12,6	7,54
28	Parnitz-Brücke, Stettin	Zweigleisig	2	1	35,7	17,90 u. 17,34	2 × 12,6	7,5
29	Hafenbrücke, Pola	Eingleisig	1	1	24,71	16,94 u. 7,74	12,30	4,64
30	Maas-Brücke, Dordrecht	Zweigleisig	2	1	34,78	2 × 17,39	2 × 12,0	7,0
31	Hunte-Brücke, Elsfleth	Eingleisig	1	1	18,0	14,4 u. 4,0	12,3	2,32
32	Peene-Brücke, Anclam	Eingleisig	1	1	19,46	13,91 u. 5,3	11,31	—
33	Canal grande, Triest	Eisenbahn und Strafe	1	1	18,4	13,45 u. 5,25	9,58	5,68
34	Canal de la Radelle, Aigues Mortes	Eingleisig	1	1	—	12,06 u. 9,04	8,0	7,0

Trägerform	Trägerhöhe m	Gewicht der bewegl. Teile in Tonnen	Bewegungskraft	Bemerkungen	Litt. No.
Abgestumpfter Parabel-Gitterträger.	0,76—3,5	3,18 t f. d. lfd. m in Rechn. gezogen	Hand	Erbaut 1867. 3 Hauptträger mit geradem Untergurte. Last nur auf den 32 Rollen von 0,38 m Durchmesser.	—
Parabel-Fachwerkträger, gerader Untergurt	6,3	Einschl. Drehvorrichtung: Schweifeseisen 101,3 t Gufseis. 21,8 Stahl 2,6	Hand	Last auf 16 Stahlrollen.	63
Blechträger	1,0—4,3	—	—	Auf Rollkranz.	—
Abgestumpfter Parabel-Blechträger	—	Bei der Berechnung 1,4 t f. d. lfd. m angenommen	Hand	System Schwedler (siehe Textfig. 87, S. 92).	43
Blechträger, Untergurt gebrochen	1,6—2,3	97	Hand	Desgleichen.	17
Desgl.	1,45—0,90	2,9 t f. d. lfd. m	Hand	Desgleichen.	45
Desgl.	1,24—1,67	?	Hand	Desgleichen.	38
Blechträger, gerader Obergurt	0,88—1,77	2,8 t f. d. lfd. m	Hand	Ähnlich wie System Schwedler.	42
Desgl.	1,00—1,60	2,506 t f. d. lfd. m	Hand	System Schwedler; 4 Hauptträger in 1,72 m Abstand.	41
Desgl.	1,20—1,60	80	Hand	Desgleichen. 2 Hauptträger.	47
Desgl.	1,24—1,67	72	Hand	System Schwedler.	19
Blechträger	0,87	80	Hand	Siehe Textfig. 153, S. 171. Last auf 56 Hartgufskugeln (Patent Weickum) von 10 cm Durchmesser. — 4 Hauptträger.	61
Abgestumpfter Parabelträger, Fachwerk, gerader Obergurt	0,8—2,0	—	Hand	Last auf dem Zapfen.	78
Blechträger	1,20	—	Hand	Siehe Textfig. 110, S. 112. Last auf dem Zapfen allein.	78
Desgl.	1,26	—	Hand	Siehe Textfig. 111, S. 112. Last auf dem Zapfen und 2 Laufrädern an dem Hinterende.	19
Desgl.	0,73	Langer Arm 44 t (einschl. Belag). Kurzer Arm 24,1 Gegengewicht 53,7	Hand	Siehe Textfig. 96, S. 103. Last auf dem in die Höhe zu schraubenden Zapfen. Umgebaut aus der seit 1857 bestandenen Strafsen-Drehbrücke.	—
Desgl.	0,87	Schweifeseisen 32,75 t Gegengewicht 4,91 4,47 cbm Holz 32,3 t Stütz- u. Bewegungs- vorrichtung	Wasser	Siehe Textfig. 86, S. 91. Last auf Zapfen und Rollkranz von 3,65 m Durchmesser. Außerdem Stützrollen am Hinterende.	29

(II. Neuere Ausführungen,

No.	O r t	Bestimmung	Anzahl Durchfahr- teile	Anzahl Teile	Trägerlänge	Armlängen	Lichtweiten	Gesamt- breite
					m	m	m	m
35	Themseflufs-Brücke, New London (N.-A.)	Zweigleisig	1	1	153,31	76,70	69,70	8,64
36	Interstate-Brücke in Omaha (N.-A.)	Zweigleisig	1	1	158,49	79,30	62,70	9,14 (später 19,74)
37	Osterröfnder Brücke über den Nord-Ostsee-Kanal	Eingleisig	1	1	99,15	59,40 + 35,82 + 3,93	50,00	4,80 oben
38	Taterpfahler Brücke über den Nord-Ostsee-Kanal	Eingleisig	1	1	95,94	56,62 + 35,00 + 4,32	50,00	4,60
39	Reiherstieg-Brücke „Neu- hof“, Hamburg	Eisenbahn und Strafe	1	1	75,00	offen: 21,80 + 53,20 geschlossen: 24,20 + 50,80	49,00	7,0 Tragwand- abst. 4,60
40	Deefflufs-Brücke bei Ha- warden (England)	Zweigleisig (mit 1,29 m Fußweg)	1	1	86,85	51,32 + 35,53	42,70	9,52 Tragwand- abst. 8,38
41	Harlemflufs-Brücke, 134. Strafe, New York	Viergleisig	2	1	118,56	59,28	30,48 (weil die Br. u. 45° schief)	17,84 (2 × 8,92)
42	Eiderbrücke bei Friedrich- stadt	Zweigleisig	2	1	54,00	28,5 + 25,5	23,00	10,16
43	Obereider-Brücke b. Rends- burg, Nord-Ostsee-Kanal	Zweigleisig	2	1	55,80	27,90	22,00 (schief u. 84°)	—
44	Baakenbrücke in Hamburg	Eisenbahn und Strafe	2	1	53,04	26,52	21,30 (schief: 59° 8')	13,32 senkrecht z. Brückenach. (6,0m Fahr- b., 2,5 m Fuß- sw. und 1 Gleis.)
45	Industrieafen Mannheim	Eisenbahn und Strafe	2	1	57,20	28,60	21,50	4,65 + 8,10 = 12,75

nach Lichtweiten geordnet.)

Trägerform	Trägerhöhe m	Gewicht der bewegl. Teile in Tonnen	Bewegungskraft	Bemerkungen	Litt. No.
Trapezträger, Fach- werk	7,62—21,63	808,7 t und 141,5 t Be- wegungs- mechanismus	Dampf (Not- fall Hand)	Rollkranz aus 58 gußstählernen Rollen; auf eine Rolle treffen 22,4 t; Pfeiler- fach ist ein Querkraftnullfeld. Hebe- vorrichtung der Endstützen und Dreh- vorrichtung erfolgt vom Maschinen- haus im 1. Stockwerk des Pfeiler- faches aus. Bei einseitiger Belastung durch 2 Eisenbahnzüge muß das andere Ende niedergehalten werden; sonst Abheben um 63 mm. Kleinste Öff- nungszeit bei Windstille 2¼ Minuten.	85
Desgl.	10,80—32,05	1360 (2000 später mit Trambahn u. Fußwegen)	Elektrizität (Notfall Hand)	Rollkranz, Drehpfeilerdurchmesser 10,2 m. Fachtteilung 10,67 m, bloß Pfeilerfach 9,14 m, Baustoff: weicher Stahl. — Zwei 40pferdige Dynamomaschinen im 1. Stock des Turmpfeilers be- sorgen die Drehung und die End- hebung.	108
Desgl.	3,70—6,25	510	Wasser	Drehung um 70°; Hauptträgerwandungen geneigt. Königsstuhl mit Druckwasser- kolben. Drehung mittels Seilantrieb. Baustoff: Schweißeisen. Erbaut 1893/94. Vergl. Taf. I, Fig. 1 u. 2 und Textfig. 167 bis 181.	120, 125 u. 126
Parallelträger, Fach- werk	6,80	—	Wasser	Schief unter 70°. Hauptbewegungs- vorrichtungen wie bei No. 37 dieser Tabelle. Eigenartige Anordnung eines Drehschemels (Textfig. 185, S. 198). Vergl. Taf. III, Fig. 8 bis 10 und Text- fig. 185. Erbaut 1893/94.	120, 125 u. 126
Trapezträger, Fach- werk	6,00—7,00	762 größte Belastung des Drehzapfens	Benzin (später Elektrizität)	Neuartige Ausgestaltung des Schwed- ler'schen Grundgedankens. Mittel- stütze um 60 mm überhöht zur Ent- lastung des Auflagers am kurzen Arm- ende. Entworfen und erbaut 1898/99. Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg.	149 u. 206
Halbparabelträger	2,60—9,78	745 (732 t Be- lastung des Drehzapfens)	Wasser und Dampf	Die Kippbewegung durch Druckwasser- kolben am Ende des kurzen Armes, fester Königsstuhl. Drehbewegung durch 2 liegende Druckwasserkolben. Baustoff: weicher Stahl.	80
Trapezträger, Fach- werk	7,62—19,51	—	Dampf	3 Hauptträger. Doppelrollkranz-Auf- lagerungen. 2 je 50pferdige Dampf- maschinen im 1. Stock des Turm- pfeilers. Baustoff: Herdahl.	109
Parabelträger	6,00	—	Hand	Schwedler-System. 2 Arbeiter drehen in 2 Minuten um 90°. Endhebevor- richtung durch gesondertes Windwerk.	88
Desgl.	7,0	246	Hand	Ausgedrehte Brücke ruht bloß auf dem Königsstuhl. Entworfen und ausgeführt von der Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg.	121 u. 206
Halbparabelträger (3 Hauptträger)	2,05—5,75	301,3 (ohne Mechanismus) 106,9 Dreh- vorrichtung	Wasser	Königsstuhl m. Druckwasser-Hubkolben. Drehung durch Gelenkgliederkette durch Druckwasserkolben; Kraftsam- mler. Baustoff: Flußeisen (Fig. 14 bis 17, Fortschrittsheft S. 12 bis 14).	89
Trapezträger	7,50—9,00	400	Elektrizität (Notfall Hand)	Fester Königsstuhl; Hubspindeln in den Endpfosten. Querkraftnullfeld über Pfeiler bei Eigengewicht. Entwurf und Ausführung: Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg 1902/03. (Vergl. Taf. II, Fig. 9 bis 12 und Textfig. 198 bis 201).	206

B. Brücken für Strafsenverkehr. (I. Ältere)

No.	O r t	Anzahl Durchfahrth.		Trägerlänge m	Armlängen m	Lichtweiten m	Gesamtbreite m
		Teile	Teile				
1	Penfeld-Brücke, Brest	1	2	174,67	Hinterarme 28,44	106,75	7,0
2	Tyne-Brücke, Newcastle-on-Tyne	2	1	62,8	2 × 31,4	—	15,25
3	South-Brücke, Hull	1	1	51,54	37,2 u. 14,3	30,5	7,32
4	Große Schleuse, Havre	1	2	—	—	30,5	6,71
5	Peguonoc-Brücke, Bridgeport	2	1	64,1	2 × 32	—	—
6	Barrow in Furness	1	2	53,22	2 (17,0 u. 9,61)	24,4	9,44
7	l'Écluse de Barrage, Dünkirchen	1	2	52,09	2 × 26,04	21,05	4,00
8	Geeste-Brücke zwischen Geestemünde und Bremerhaven	2	1	52,0	—	2 × 20,4	—
9	Zollhafen, Mainz	2	1	59,9	29,95	2 × 24 schief 2 × 20 normal	9,00
10	Eingang Waterloo-Docks, Liverpool	1	2	—	—	18,50	8,54
11	Hull-Brücke, Hull	1	1	34,92	22,72 u. 12,20	17,24	9,91
12	Medway-Brücke, Rochester	1	1	33,25	23,18 u. 10,07	14,79	12,20
13	Niederbaum-Brücke, Hamburg	2	1	37,0	2 × 18,0	2 × 13,5	10,87
14	Shannon-Brücke, Athlone	2	1	—	—	2 × 13,31	8,85
15	Weserschleuse, Hameln	1	1	18,7	13,1 u. 5,6	11,6	—
16	Spencer Dock, Eingang, Dublin	1	1	—	—	8,54	—

Ausführungen, nach Lichtweiten geordnet.)

Trägerform	Trägerhöhe m	Gewicht der bewegl. Teile in Tonnen	Bewegungskraft	Bemerkungen	Litt. No.
—	—	700	Hand	Last auf dem Rollkranz von 9 m Durchmesser, 50 Rollen von 20 cm Durchmesser. 9 Mann öffnen in 15 Minuten. Bei geschlossener Brücke Hinterenden durch Klauen mit Mauerwerk verbunden.	11 u. 78
Parabelträger	7,6	über 1200 t engl.	Wasser	Erbaut 1876. Zapfen stets auf Wasser mit 1100 t Druck. Die übrige Last auf dem Rollkranz. Brücke dreht sich um 360°.	—
Blechträger mit gekrümmtem Obergurt	1,37—3,35 u. 2,64—3,35	800 t engl.	Wasser	Gegengewicht 500 t. Ursprünglich für Handbetrieb eingerichtet.	—
—	—	—	Hand	Last auf Zapfen und Stützrädern am Hinterarm.	9
Abgestumpfter Parabelträger, Fachwerk	7,1—10,4	—	—	—	—
Fachwerk S. Textfig. 112, S. 113	—	2 × 116 t engl.	—	Last auf dem Zapfen, unter Vermittlung von Federn (Textfig. 112, S. 113). Stützräder am Hinterende.	53
Bogenförmiger Untergurt stemmt sich gegen d. Widerlager	—	60	Hand	Last auf Zapfen und Stützrädern am Hinterende. Öffnet sich in 1 Min. Noch zwei ähnliche Drehbrücken in Dünkirchen.	—
Abgestumpfter Parabel-Blechträger, gerader Untergurt	1,4—2,8	—	Hand	Last auf dem Rollkranz.	4 u. 8
Fachwerkträger m. geradem unteren und nach oben konkaven Obergurte.	Größte Höhe üb. d. Pfeiler 6,5	76 t d. Haupttr. 5,2 t d. Verbände 88,4 t d. Fahr. 12,8 t d. Fußw. 49,4 t die Drehvorrichtung	Hand	Last auf dem Drehzapfen und 4 Lauf- rädern, von denen 3 auf Federn ruhen. Laufkranzdurchmesser 4,12 m. Pfeiler- durchmesser 10 m. Kosten der Eisenkonstruktion ohne Holzpflaster 71700 M.	66
—	—	—	Wasser	Last auf Rollen. Die beiden Brücken- hälften in geschlossenem Zustande durch mit Druckwasser eingetriebene Riegel verbunden. Drei solche Brücken in Liverpool.	—
Blechträger	—	240 t engl. Gegengew. 47	Hand	Erbaut 1869. Rollkranz. Schwereres Hinterende durch 2 Räder gestützt.	—
Desgl.	—	300 t. Hiervon 100 t Gegen- gewicht	Hand	Last auf Zapfen und Rollkranz von 9,15 m Durchmesser. 30 Rollen.	—
Parabelträger, Fachwerk, gerader Untergurt	4,76	620 t die Hauptträger, 84 die Quer- konstruktion, 500 t d. Dreh- vorrichtung	Hand oder Wasser (2 1/2 Atm.)	Siehe Textfig. 130, S. 132. Last in der Hauptsache auf dem Drehzapfen. Außerdem 4 Laufräder, von denen eines mit festen Achsenlagern; die anderen erhalten, mittels Federn, einen Druck von nur je 7 t. Laufkranz von 8,74 m Durchmesser. Brücke kann um 360° gedreht werden. 4 Mann öffnen und drehen um 180° in 6 Minuten. Drehung durch Wasserdruck um 180° in 1,7 Minuten. Der eiserne Überbau der Drehbrücke kostet 55000 M., die Drehvorrichtung 40000 M., der Dreh- pfeiler 25000 M.	55
Blechträger m. Zugstangen nach einem über Mittelpfeiler stehenden Bocke	—	130 t engl.	Hand	Last auf Zapfen und Rollen.	—
Fachwerk, Untergurt gerade	0,73—1,31	—	Hand	—	25
Fachwerk, Parallelträger	—	—	Hand	Auf schwimmendem Drehpfeiler (vergl. Textfig. 92, S. 98). Auf der Brücke liegt ein Gleis für Eisenbahnwagen.	—

(II. Neuere Ausführungen,

No.	Ort	Anzahl		Trägerlänge m	Armlängen m	Lichtweiten m	Gesamtbreite m
		Durchfahrt	Teile				
17	Hafenbrücke in Tarent (Italien)	1	2	89,90	33,5 + 10,75	59,4	4,7 + 2,19; Tragwand- entf. 1,5 + 2,5 + 1,5
18	Rendsburger Brücke, Nord- Ostsee-Kanal	1	1	91,90	55,05 + 33,21 + 3,64	50,0	5,50 + 2 × 1,27 Tragwandabst. 6,15
19	Pollet-Brücke, Dieppe (Frankreich)	1	1	70,5	47,0 + 23,5	40,0	6,94 Tragwandabst. 7,74
20	Doppeldrehbrücke bei Co- lumbus (N.-A.)	2	2	2 × 42,52	16,70 + 4,57 + 19,80	35,05	7,02 Tragwandabst.
21	Rheinhafenanlage in Ludwigshafen	1	1	51,00	offen: 33,50 + 17,50 geschl.: 32,00 + 19,00	30,0	5,0 Tragwandabst. 5,4
22	Trafford road-Brücke, Man- chester Schiffkanal (Engl.)	1	1	62,48	38,71 + 23,77	22,86	14,02
23	Hafen von Ruhrort	1	1	39,60	23,1 + 16,5	18,2	8,74 Tragwandabst. 5,92
24	Alter Hafen in Cuxhaven	1	2	36,18	offen: 18,09 geschl.: 19,09 + 17,09	14,04	5,00 + 2 × 2,00 Tragwandabst. 5,424
25	Rheinstraßenbrücke in Mannheim	1	1	41,40	offen: 20,70 + 20,70 geschl.: 22,20 + 19,20	14,0	5,00 + 2,20 × 2 Tragwandabst. 6,40
26	Barton-Kanalbrücke (Engl.) Einzig der Schifffahrt dienende Drehbrücke.	2	1	71,67	35,83	—	5,80 Tragwandabst. 6,80

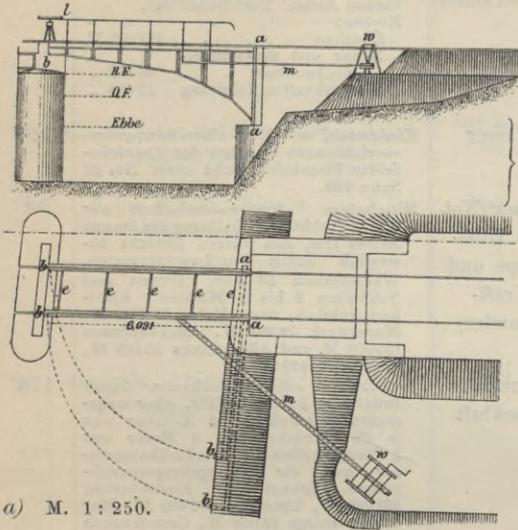
nach Lichtweiten geordnet.)

Trägerform	Trägerhöhe m	Gewicht der bewegl. Teile in Tonnen	Bewegungskraft	Bemerkungen	Litt. No.
Bogenfachwerks- träger	4,10 über Drehachse	536; Eisenüber- bau 342,2 t Mechanismus bewegl. 50,1, fest 54,6 Ge- samtgew. mit Ballast 447,0	Wasser (Notfall Hand)	4 Tragwände. Kippen der Brücke mit- tels 4 Stellschrauben am Ende der kurzen Arme. Turbinenanlage. Kosten: Überbau 324 000 M. Motor und Bewegungs- mechanismus 86 450 „ Wasserkraftm. Zuleitung 23 490 „	70
Fachwerk, Trapez- träger	4,90—7,00	rd. 600	Wasser	Königsstuhl mit Hubkolben-Bewegungs- vorrichtungen wie bei der Osterrön- felder Eisenbahnbrücke unter No. 37 Seite 230.	120
Fachwerk, gerader Untergurt, gekrümm- ter Obergurt.	2,75—7,11— 5,97	810 Belastung d. Drehzapfens 243,5 t Ballast	Wasser (Not- fall Hilfs- pumpe und Kraft- sammler)	Mittelstütze. Presswasserkolben nur 15 mm Hubhöhe. Endlager des langen Armes fest, des kurzen lotrecht be- weglich durch Druckwasserpressen. Wasserdruck 50 Atm. Öffnen und Schließen 2 bis 3 Minuten. Eisen- konstruktion und Holz 181890 M., Mauerwerk 72900 M., Mechanismus 155000 M. und Allgemeines 20100 M., zusammen 429590 M.	93
Fachwerk, Trapez- träger	6,40—7,93	427,5	Elektrizität u. Druckluft	Jede Öffnung ruht auf Rollkranz. Ganze Brücke in 3:100 Gefälle, aber wage- rechte Ausdehnung. 2 Motoren von je 25 Pferdekräften. 1 Motor von 5 Pferdekräften für den Luftkompres- sor und die Entriegelungsvorrich- tungen. Erbaut 1895. Eisenüberbau 193260 M., Unterbau 118400 M., Ma- schinenanlage 21000 M., Grunderwerb und Verschiedenes 77610 M.	118
Fachwerk, gerader Unter- u. gekrümm- ter Obergurt	3,0—7,5	394,1 Belast. d. Drehzapfens 15,3 Beton- ballast	Hand	Schwedler'scher Grundgedanke. Fester Königsstuhl. Kniehebel am kurzen Armende und Federpufferung daselbst nebst Verriegelung. Drehung durch Seiltrieb. Entwurf und Aus- führung: Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg. (Vergl. Textfig. 210 bis 212, S. 216.)	206
Desgl.	9,14 über Pfeiler	1800	Hand	Rollenkranz aus 64 Rollen. Rollen- kranzdurchmesser 15,09 m. Baustoff: weicher Martin-Siemensstahl. Buckel- platten aus Schweifeisen. (Vergl. Fig. 29, S. 26 Fortschrittsheft.)	97 u. 112
Fachwerk, Trapez- träger	3,30 über Pfeiler	—	Wasser, Kraft- sammler durch Gaskraft- maschine ge- speist	Königsstuhl, dessen Drehzapfen durch Hebelanordnung um 60 mm gehoben wird. 12 Führungsrollen auf Kranz von 6,6 m Durchmesser Brücke zum Durchdrehen ohne Verriegelung; dafür eigenartige Bremsvorrichtung. Eiserner Überbau 35200 M., Maschinenanlage mit Haus 27900 M. (Vergl. Text- fig. 107, S. 111.)	123
Blechträger, para- bolische Gurtungen	0,77—1,45	61,90	Hand	Schwedler'scher Grundgedanke. Fester Königsstuhl. Federprellbock. Baustoff: Flußeisen nach dem ba- sischen Martin-Siemens-Verfahren. Erbaut 1903. Ausführung: Maschinen- bau-Gesellschaft Nürnberg. (Vergl. Textfig. 193 u 194, S. 203.)	206
Fachwerk, gerader Unter- u. gekrümmter Obergurt	2,1—6,5	—	Elektrizität (Notfall Hand)	Schwedler'scher Grundgedanke. Fester Königsstuhl. An den Enden des kur- zen Armes Hebeschrauben. 5 pferdiger Nebenschlussmotor für 220 Volt Span- nung. Heben 20 Sek., Drehen um 90° = 75 Sek. Handbetrieb 228 bzw. 180 Sek. (Vergl. Textfig. 102, S. 110) Ausführung Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg.	206
Desgl.	10,05 über Pfeiler	1600 (einschl. des gefüllten Wassertroges)	Wasser	Rollkranz und Druckwasserkönigsstuhl nehmen je 800 t Druck auf. 4 Druck- wassermaschinen, 2 für die Drehung und je eine an den Brückenden zur Bedienung der Dichtungstore. Alle von einer Druckwasser-Kraftstation auf dem Lande aus bedient. (Vergl. Textfig. 213, S. 218.)	112

F. Kranbrücken.

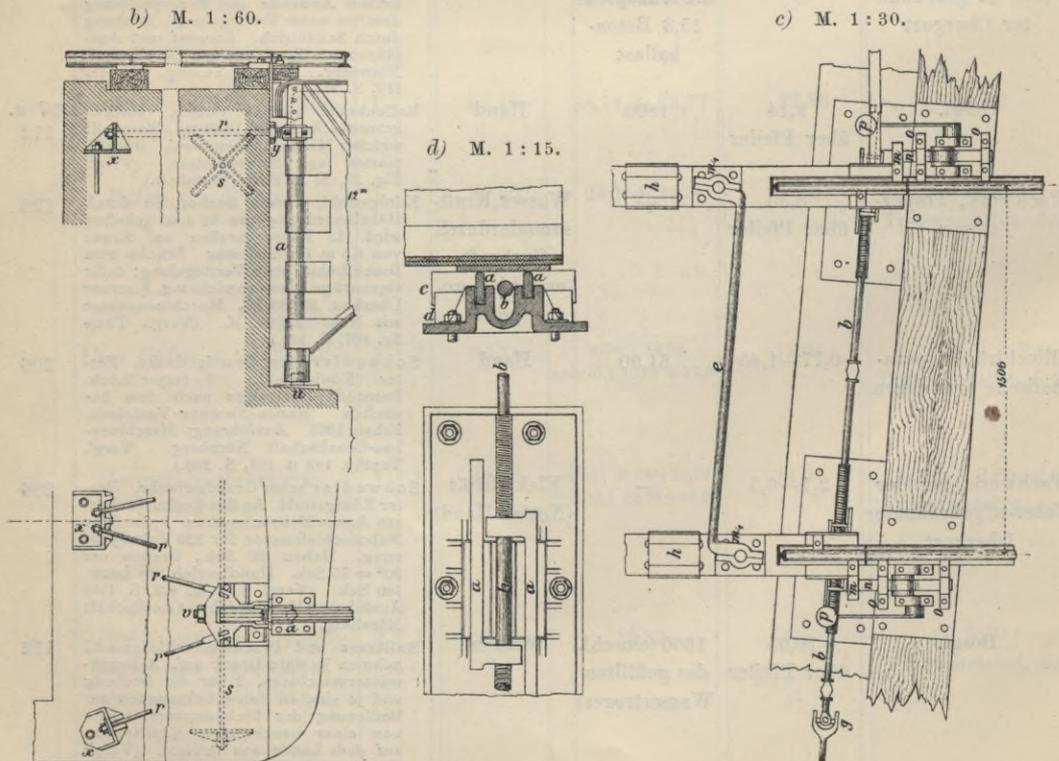
§ 95. Kranbrücken sind Drehbrücken ohne Hinterarm bei Parallelverschiebung der Hauptträger. Die beiden unmittelbar unter den Gleisschienen angeordneten, ungleich langen Hauptträger ab (Textfig. 214 u. 216) drehen sich nach Art der Krane um ihre Wendesäulen a , wobei der Parallelismus der Hauptträger durch die drehbar befestigten Verbindungsstangen erhalten bleibt.

Fig. 214. Kranbrücke über den Georgsfehnkanal.



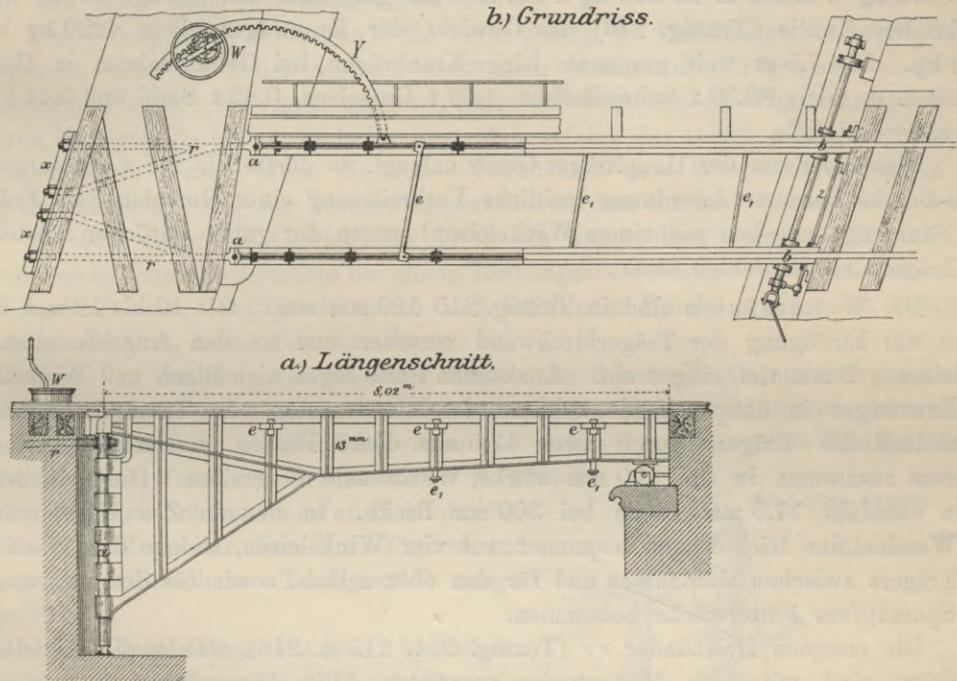
Der Kranbrücken-Grundgedanke ist zwar schon vor mehr als 70 Jahren bei einzelnen hölzernen Brücken Amerikas und Frankreichs zur Anwendung gekommen, doch haben besonders die niederländischen Ingenieure diese für Überbrückung von Schiffsöffnungen bei mangelnder Konstruktionshöhe durch ihre Einfachheit und Billigkeit sich empfehlende Anordnung ausgebildet. (Ältere holländische einfache Kranbrücken bis 4 m, später doppelte Kranbrücken bis 10 m Lichtweite, z. B. bei Breda, bei Schiedam.)

Fig. 215 b bis d. Einzelheiten.



Später haben die Kranbrücken auch in Norddeutschland (Oldenburg) durch den Vorgang von Buresch Anwendung gefunden. Dieselben bieten den einarmigen Drehbrücken gegenüber den Vorteil, daß sie nicht des die Laufrollen und den Drehzapfen schwer belastenden Gegengewichtes bedürfen. Nicht zu verschweigen ist allerdings die schwache Seite der Kranbrücken, daß dieselben einer zusammenhängenden Fahrbahn-
tafel entbehren (bei Entgleisung verderblich) und starke Widerlager für die wagerechte Verankerung der Köpfe der Wendesäulen erfordern.

Fig. 216 a u. b. Kranbrücke bei Zivolle. M. 1:100.



Die Hauptträgerenden *bb* der Kranbrücken (Textfig. 214 u. 216) müssen nach dem Einschwenken etwas gehoben werden, damit die Schienen der Brücke in die Höhe des Landgleises kommen. Hierbei wird jedoch nicht nur die elastische Durchbiegung der Träger weggenommen, sondern man macht auch gleichzeitig die Kransäule *a*, infolge der etwas länglichen Gestalt des Halseisenloches in Richtung des Trägers frei, so daß beim Befahren der Brücke die Durchbiegungen der Hauptträger unabhängig von den Wendesäulen vor sich gehen können und die Halseisen nur einen verhältnismäßig geringen seitlichen Druck auszuhalten haben.

Da nichtsdestoweniger die durch die Betriebskraft erzeugten Stöße sowohl an den Spurlagern der Kransäulen, als auch unter dem Hebungsmechanismus an dem anderen Brückenende ihre zerstörende Wirkung auf das Mauerwerk äußern, so hat man, um diesen Übelstand zu umgehen, zweierlei Wege eingeschlagen. Entweder ordnete man zwischen den betreffenden Konstruktionsteilen und dem Mauerwerke starke eichene Mauerschwellen an, die nach Bedarf ausgewechselt werden konnten, oder man entlastete die Kransäulen bei geschlossener Brücke ganz, indem man die Hauptträger nach rückwärts so weit verlängerte, daß auch hier, wie an der Spitze der Brücke, eine besondere Hebungsvorrichtung angebracht werden konnte. Diese letztere bereits 1865 für die Vecht-Brücke angewandte Konstruktion hat sich vollständig bewährt. (Brücke über den

Festungsgraben in Zütphen, durch einen Mann in 5 bis 6 Minuten geöffnet und geschlossen; doppelte Kranbrücke über die Schie bei Delfshaven, bei welcher das Halseisen ebenfalls verschoben werden kann.)

Die Hauptträger der Kranbrücken, als Blechträger konstruiert (Textfig. 214 u. 216), sind für den geöffneten Zustand als Konsolträger, für den geschlossenen wie an den Enden gestützte einfache Balken zu berechnen. Das Eigengewicht wird sich je nach der Konstruktion verschieden herausstellen. Während man dasselbe bei der Georgsfehnkanal-Brücke (Textfig. 214 u. 215) für $l = 6,7$ m und eine Verkehrslast von 8000 kg f. d. lfd. m zu 600 kg f. lfd. m Gleis gerechnet hat, beträgt bei der Kanalbrücke bei Zwolle (Textfig. 216) das Gewicht der Kranträger allein 4220 kg bzw. 4068 kg. Die 7,5 m weit gespannte Linge-Kranbrücke bei Geldermalsum in Holland enthält f. d. Gleis 83,56 t Schweifseisen, 1,62 t Gußeisen, 0,82 t Stahl und 0,44 t Blei und andere Metalle.

Was die Form der Hauptträger-Gurte anlangt, so dürfte die bei der Georgsfehnkanal-Brücke benutzte Anordnung (seitliche Verbreiterung einer Gurtplatte als Fußweg und Säumung derselben mit einem Winkeleisen) wegen der guten seitlichen Absteifung des Trägers zu empfehlen sein.

Die Wendesäulen sind in Textfig. 215 120 mm stark, mit 10 bis 12 mm tiefen Nuten zur Einfügung der Trägerblechwand versehen und an den Angriffsstellen der Halseisen y 5 mm tief eingedreht. Am oberen Ende legen sich Blech und Winkeleisen der Kranträger in entsprechende Schlitze der Wendesäulen. In Textfig. 216 ist das Wandblech des Trägers durch zwei 17,5 mm dicke Platten verstärkt, welche mit ersterem zusammen in die 150 mm starke Wendesäule eingreifen. Die Schellbänder haben ebenfalls 17,5 mm Dicke bei 300 mm Breite. In neuerer Zeit bildet man oft die Wendesäulen leichter und bequemer aus vier Winkeleisen, welche das Wandblech des Trägers zwischen sich fassen und für den oberen Hals, sowie für den unteren Muff des Spurzapfens Futterstücke bekommen.

Die eisernen Halsbänder rr (Textfig. 214, 215 u. 216), welche die Wendesäule umfassen, sind mit dem Mauerwerke verankert. Die Anwendung einer einzigen gemeinschaftlichen Verankerungsplatte x (Textfig. 215) ist wegen der größeren Unverschiebbarkeit vorzuziehen. Um die Wendesäulen in ihrer Stellung nachstellen zu können, sind bei der Georgsfehnkanal-Brücke besondere Schraubenvorrichtungen v, y (Textfig. 215 *b*) angebracht. Die für eiserne Stemmtore üblichen Anordnungen der Wendesäulen, Halsbänder, Spurzapfen u. s. w.¹⁹⁾ können mit sachgemäßen Abänderungen Anwendung finden.

Die Querverbindungen werden am zweckmäßigsten sowohl an den oberen als auch an den unteren Gurten angeordnet, wobei die Drehbolzen $e_1 e_1$ (Textfig. 216) für die unteren Kuppelstangen unmittelbar an den Untergurten, und die Bolzen ee (Textfig. 216 *a*) für die oberen Verbindungsstangen in die zu diesem Zwecke entsprechend ausgeschnittenen stehenden Wandbleche eingesetzt sind.

Die Bewegungsvorrichtung besteht bei den holländischen Kranbrücken aus dem an der Brücke befestigten Zahnsegmente Y , in welches das am Pfeiler befindliche Windwerk W eingreift (Textfig. 216 *b*). Bei der Georgsfehnkanal-Brücke ist, der Einfachheit halber, eine einfache Bockwinde w mit Kette und Schubstange m angeordnet (Textfig. 214 *a*).

¹⁹⁾ Landsberg. Die eisernen Stemmtore der Schiffsschleusen. 1894.

Zur Hebung der Trägerenden wendet man in Holland meist exzentrische Scheiben an. Wegen der den letzteren anhaftenden Mängel (vergl. S. 178) ist bei der Georgsfehnkanal-Brücke eine in § 80 beschriebene Keilvorrichtung (Textfig. 215) zur Anwendung gekommen.

Die seitliche Feststellung der eingeschwenkten Träger wird in Textfig. 216 durch an der Exzenterwelle z sitzende drehbare Klauen, welche das Wandblech der Kranträger fassen, bewirkt. In Textfig. 215 ist dagegen die Feststellung durch Riegel n mit Hebelgewichten p bewirkt, wobei der Schlufs unmittelbar von Schiene zu Schiene erfolgt und daher auch zuverlässiger sein dürfte.

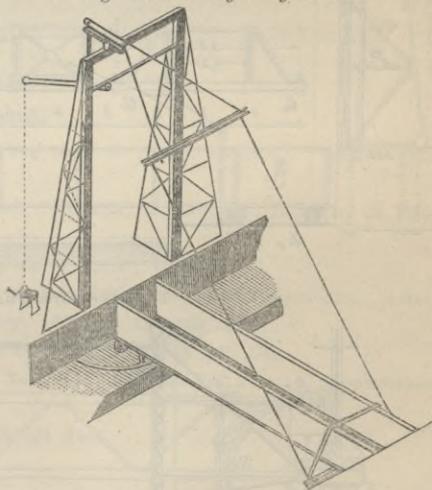
Der Uferpfeiler wird durch die Verankerung des Halsbandes am ungünstigsten beansprucht, wenn die Brückenspitzen nicht mehr gestützt, die Träger aber noch nicht aufgeschwenkt sind. Bei ganz aufgeschwenkter Brücke ist das Umsturmmoment viel geringer, dagegen die Gefahr zu befürchten, daß infolge der schief gegen die Anker rr wirkenden Kraft erstere nicht die volle Mauermaße zum Widerstande bringen und durch den seitlichen Zug der vordere Mauerteil von dem dahinter liegenden abgerissen wird. Es muß daher das Gewicht der durch den wagerechten Anker s (Textfig. 214b) zusammengehaltenen Mauermaße bei einem Reibungskoeffizienten $= 1$ mindestens gleich jener Zugkraft sein. Bei geschlossener und befahrener Brücke erleidet das Halsband, wie schon erwähnt, keine Beanspruchung.

Nach den Angaben von Buresch kostete die 6 m weite Augustfehnkanal-Brücke 9000 M. und die etwas höhere und unter ungünstigen Bodenverhältnissen gebaute, aus einer festen, 10 m i. L. weiten Blechbrücke und einem 6 m i. L. weiten Schiffsdurchlaß bestehende Georgsfehnkanal-Brücke 27000 M. (1868).

Mit den Kranbrücken verwandt ist die bei Sing-Sing im Zuge der New York-Central und Hudson-River Eisenbahn (Textfig. 217) ausgeführte Brücke.

Jedes der beiden Gleise hat seinen besonderen Brückenkörper, von denen der eine beim Öffnen der Brücke nach rechts, der andere nach links ausschwingt. Die Schienen liegen auf hölzernen Querschwellen. Bei geschlossener Brücke ruhen die Brückenträger mit einem Ende auf gußeisernen Auflagerplatten AA ; am anderen Ende wird der innere Hauptträger jedes Gleises durch eine Lagerplatte A und eine der Gleisachse parallele Rolle R_1 , der äußere Hauptträger durch eine ebensolche, jedoch zur Gleisachse senkrecht stehende Rolle R_2 und außerdem durch einen Drehzapfen Z_1 unterstützt. Senkrecht über diesem ist ein zweiter, von einem kurzen zweiarmigen Hebel H_2 getragener Drehzapfen Z_2 angebracht, an welchem das auszuschwingende Ende des Brückenkörpers mittelst Zugstangen aufgehängt ist. Die Zugstangen bilden zwischen dem Querträger QQ und der Spreize SS ein das Durchfahrtsprofil freilassendes Rechteck. Von der Spreize ab laufen die Zugstangen nach dem oberen Drehzapfen zusammen. Der Hebel H_2 , auf welchem dieser befestigt ist, findet seinen Stützpunkt auf dem Querträger TT eines das Durchfahrtsprofil einrahmenden Gestells. Am Untergurte von T ist ein zweiter Hebel H_1 so gelagert, daß er durch eine Zugstange mit dem Endpunkte von H_2 verbunden und daß

Fig. 217. Sing-Sing-Brücke.



eine am langen Arm von H_2 angebrachte Kette K außerhalb des Durchfahrtsprofils zu einer kleinen Winde geführt werden kann. Zu diesem Zwecke ist H_1 im Grundrisse diagonal zur Brückenachse angeordnet.

Soll die Brücke ausgeschwenkt werden, so wird die Kette angezogen, der Zapfen Z_2 mithin ein wenig angehoben und der Brückenkörper dadurch von den Lagerplatten frei gemacht. Es ruht dann der größte Teil des Brückengewichtes auf den beiden Drehzapfen. Das Drehen wird mit Hilfe eines kleinen, unmittelbar auf der senkrechten Kurbelwelle sitzenden, in einen Zahnkranz eingreifenden Zahnrades bewirkt.

Die beschriebene Anordnung hat gegenüber der der Kranbrücken den großen Vorteil einer guten Quer- und Horizontalverstrebung. Auch ragen bei ersterer keine Konstruktionsteile ins Wasser.

Fig. 218 a bis c. Sing-Sing-Brücke der New York-Central und Hudson-River Eisenbahn.

Fig. 218 a. Seitenansicht und Querschnitte.

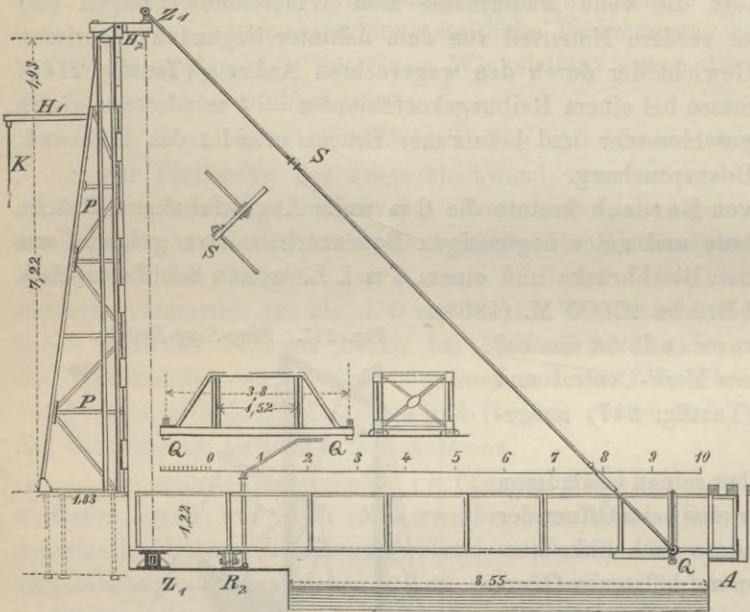


Fig. 218 c. Grundriss.

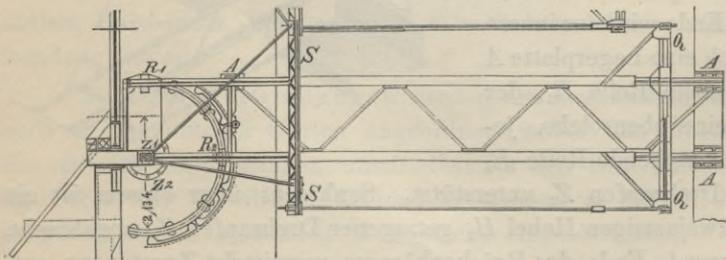
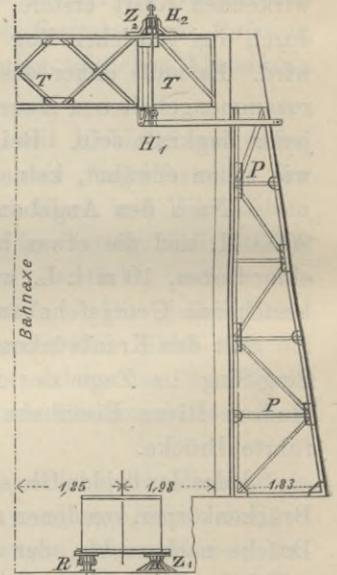


Fig. 218 b. Querschnitt.



Alter als die Sing-Sing-Brücke, aber nach ähnlichem Grundgedanken gebaut, sind die Eisenbahnbrücken am Bahnhof in Boston. Eine derselben, die Néponset-Brücke, ist zweigleisig und führt über einen 11,0 m breiten Kanal. Die Textfig. 219 zeigt die Grundriss-Anordnung. Das lotrecht stehende Tor ist

aus 30.30 cm und 38.38 cm starken Hölzern gebildet und durch Streben und Zugstangen ausgesteift. Oben an diesem Tore befinden sich, wie bei der Sing-Sing-Brücke, kleine zweiarmige Hebel, an welchen einerseits die geneigten, nach ungefähr $\frac{2}{3}$ der Brückenlänge gehenden Zugstangen angreifen, während andererseits lotrechte Zugstangen befestigt sind, die unten an einarmigen Hebeln angreifen, welche durch Ketten und auf der Brückenplanie angebrachte Winden bewegt werden können. Mittels dieser Winden wird zunächst das freie Brückeneende durch zwei Mann um etwa 10 bis 15 cm angehoben, wobei das Gewicht der Gitterträger zum Teil von den geneigten Zugstangen und zum Teil von dem

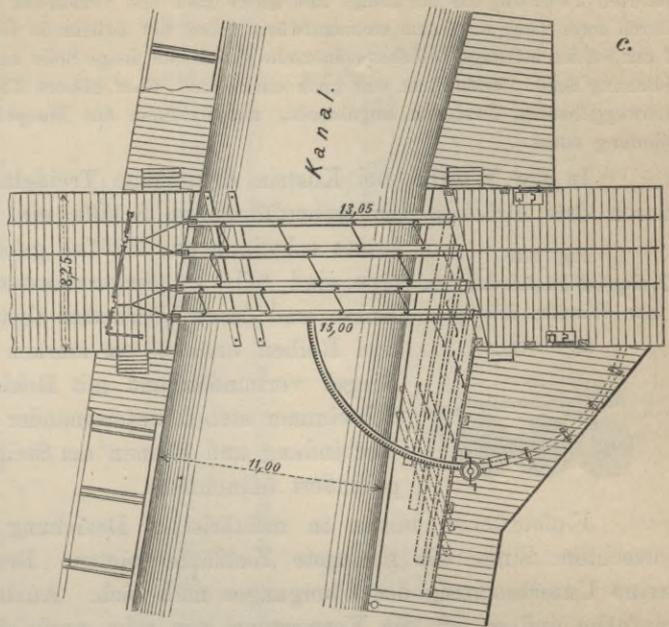
am Ende der Gitterträger angebrachten Zapfen getragen wird. Zwei bis vier Mann können nunmehr, mittels einer besonderen Winde und eines Zahnsegmentes, die Brücke ausschwenken, wobei die gelenkig angebrachten, S-förmigen Querverbindungen der Bewegung folgen, bis die 1,52 bis 2,17 m voneinander abstehenden Hauptträger, einander stets parallel bleibend, bis zu einer Entfernung gleich 0,10 bis 0,35 m zusammenrücken.

Der Preis einer derartigen zweigleisigen Brücke stellt sich auf 6400 bis 12000 M. Einige dieser Bostoner Brücken sind auch mit eisernen Gitterträgern ausgeführt.

Eine weitere Ausgestaltung haben die Kranbrücken in neuerer Zeit nicht gefunden; deren hauptsächlichem Mangel, die ungenügende Seitensteifigkeit, läßt sich wohl kaum befriedigend abhelfen.

Bezüglich einer neueren, jedoch nur vorübergehenden Zwecken dienenden, dem Kranbrückensystem ähnelnden Brücke für Fußgängerverkehr siehe Litt. 7 nach § 95.

Fig. 219. Brücke bei Néponset. M. 1 : 380.



Litteratur

(zugleich nach der Zeitfolge geordneter Quellennachweis).²⁰⁾

Kranbrücken betreffend.

1. Brederode. Beschrijving van de brug in den staatsspoorweg over de nieuwe wetering. Tijdschr. van het koninkl. Inst. van Ing. 1869/70, S. 247.
2. Buresch. Die Eisenbahnbrücke über den Georgsfehn-Kanal. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1872, S. 233—245, Bl. 530—532.
3. Kranbrücke über die Linge bei Geldermalsum. Nouv. ann. de la constr. 1879, S. 68.
4. Die Eisenbahn-Drehbrücke bei Sing-Sing im Zuge der New York-Central Hudson-River Eisenbahn. Amer. Eng. Bd. 7, No. 6 u. 7, mit Abb. — Zentralbl. d. Bauverw. 1884, S. 133 mit Abb.
5. Die Néponset-Brücke am Bahnhofe zu Boston. Génie civil 1884/85, I. S. 233 mit Abb.
6. Henket, Schols en Telders. Waterbouwkunde 1888, 3. Teil, XIV. Abt. mit Taf. 28—31, Kranbrücken betreffend.
- *7. A novel swinging fort bridge. Engng. news 1895, I. S. 50 mit Abb.

G. Schwimmende Brücken.²¹⁾

§ 96. Baustoff, Form, Abmessungen und Verankerung der schwimmenden Stützen. Erforderliche Anzahl derselben. Je nach der Bedeutung und dem Zwecke der Brücke werden zu den schwimmenden Stützen Fässer, Flöße, Blechzylinder, hölzerne oder auch eiserne Brückenschiffe oder Prahme (Pontons) benutzt.

²⁰⁾ Siehe Anm. 3, S. 18.

²¹⁾ Es sind hier nur solche Schiffbrücken besprochen, welche zur Herstellung eines ständigen Verkehrs zwischen zwei Ufern dienen.

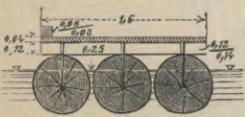
Eine 1862 über den Fluß Pas bei Renedo erbaute provisorische Brücke von 64 m Länge und 2,4 m Breite, welche 4 Hochfluten ausgehalten hat, ruhte auf 12 Schwimmern von je 4 leeren gut kalfaterten Tonnen, die der Länge und Quere nach fest verbunden waren. Jeder solcher Schwimmer war durch zwei Tauen an einem stromaufwärts neben der Brücke in Geländerhöhe gespannten Halteseile von 7 cm Stärke befestigt, welches seinerseits durch vier lange Seile an stromauf befestigten Uferpfählen seine Stützung fand. Außerdem war noch ein zweites, über höhere Uferstangen wie ein Kettenbrückenkabel hinweggehendes Drahtseil angebracht, mit welchem das Haupt-Halteseil durch Hängedrähte in Verbindung stand.

In der Warthe bei Küstrin dient zum Treideln der mit niedergelegten Masten durch drei Brücken hindurchzuführenden Schiffe ein Leinpfad, welcher durch 1,6 m breite schwimmende Flöße gebildet wird (Textfig. 220). Letztere sind teils an eingerammten Pfählen befestigt, teils durch Anker und durch Uferketten festgelegt. Die Flöße bestehen aus drei Reihen etwa 60 cm starken Kiefernstämmen, welche durch Riegel verbunden und mit Bohlenbelag abgedeckt sind. Diese Schwimmer stehen untereinander durch Holzriegel und Kette in Verbindung und können am Steigen und Fallen des Wassers ungehindert teilnehmen.

Fig. 220.

Leinpfad-Flößebrücke in der Warthe, Küstrin.

M. 1 : 75.



Flößebrücken bieten in militärischer Beziehung den Vorteil, daß dieselben in lotrechtem Sinne die geringste Zielfläche bieten. Beschädigungen der Flöße ziehen keine Unterbrechung des Überganges nach sich. Auch ist die Herstellung eine sehr einfache und es ist die Verwertung von sehr ungleichartigem Baustoff möglich. Dagegen haben sie den Nachteil, daß sie treibende Gegenstände nicht durchlassen und bereits bei dem kleinsten Eisgang ausgefahren werden müssen.

Die von den Russen zum Zwecke des türkisch-russischen Krieges 1877/78 in Aussicht genommene schwimmende Donaubrücke wurde, bei einer Minimalwassertiefe von 1,2 m, durch schwimmende Blechzylinder von 7,3 m Länge und 1,2 m Durchmesser unterstützt, die zu zweien so neben- beziehentlich hintereinander gelegt waren, daß in der Richtung quer zur Fahrbahnachse eine Länge der Unterstützung von 1,5 m sich ergab, während der Abstand der Blechzylinder von Mitte bis Mitte 5,1 m betrug. Stromaufwärts waren an den Zylindern eiserne Sporen zum Eisbrechen vorgesehen.

Die am häufigsten benutzte Form für die schwimmenden Stützen ist die der Brückenschiffe oder Prahme.

Ein gut konstruiertes Brückenschiff muß

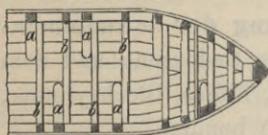
1. die erforderliche Tragfähigkeit und Standsicherheit besitzen,
2. dem Wasserstrom möglichst geringen Widerstand bieten (Stau),
3. wenig Anschaffungs- und Unterhaltungskosten verursachen.

Die älteren Schiffbrücken sind stets nur aus Holz hergestellt worden. In neuerer Zeit hat man jedoch mehrfach auch eiserne Schiffe angewandt, welche bei größerer

Fig. 221.

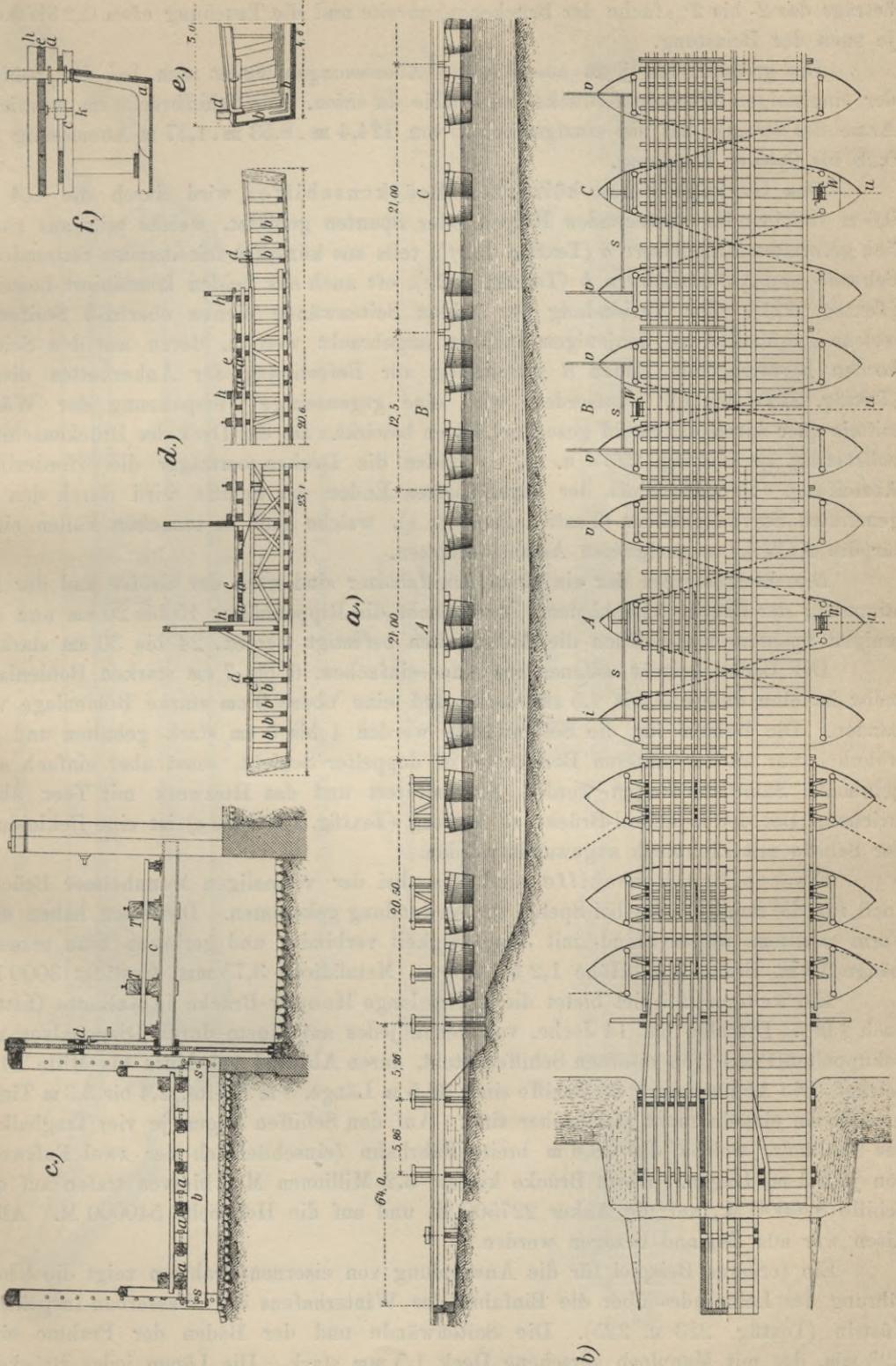
Hölzernes Brückenschiff.

Grundriß. M 1 : 200.



Festigkeit und Dauer auch feuersicherer sind. Die hölzernen Prahme erhalten gewöhnlich eine prismatische, an den Enden in Spitzen oder Schneiden zulaufende Form (Textfig. 221). Mit Rücksicht auf geringe Stauwirkung erscheint die Zuspitzung nach dem sphärischen Dreieck am zweckmäßigsten. Der Boden des Schiffes wird hierbei am besten an den Enden etwas in die Höhe gezogen, während man die Seitenborde, der größeren Stabilität halber, etwas geneigt anlegt. Bezeichnet l die größte Länge, b die größte Breite, h die Höhe eines Brückenschiffes, so findet man mehrfach $l = 5b$ bis $5,5b$; $b = 2h$ bis $3h$, wobei die Höhe gewöhnlich 1,25 bis 1,5 m beträgt und die Länge der

Fig. 222. Straßen- und Eisenbahn-Schiffbrücke bei Marau. Maßstäbe: a u. $b = 1:500$; c u. $f = 1:120$; e u. $d = 1:160$.



Zuspitzung gleich der größten Schiffsbreite gemacht wird. Die Gesamtlänge des Schiffes beträgt das 2- bis $2\frac{1}{2}$ fache der Brückenbahnbreite und die Tauchung etwa 0,2 bis 0,6 m, je nach der Belastung.

Die größten bis jetzt ausgeführten Abmessungen findet man bei den Schiffen der eingleisigen Mississippi-Brücke bei Prairie du chien. Die Schiffbrücke im westlichen Arme des Stromes hat ein einziges Schiff von 124,4 m . 8,53 m . 1,37 m Abmessung und 0,28 bis 0,46 m Tauchung.

Das Gerippe eines hölzernen Brückenschiffes wird durch die 0,4 bis 0,6 m voneinander abstehenden Rippen oder Spanten gebildet, welche teils aus natürlich geformten Kniehölzern *a* (Textfig. 222 *f*), teils aus künstlich miteinander verbundenen Schwell- und Aufsatzhölzern *b* (Textfig. 222 *e*), oft auch aus beiden kombiniert bestehen (Textfig. 221). Zur Verbindung der beiden Seitenwände dienen oberhalb Steifen *c*, welche gewöhnlich an denjenigen Spanten angebracht werden, deren aus den Seitenborden hervorragende Enden *d* gleichzeitig zur Befestigung der Ankerketten dienen (Textfig. 222 *d* bis *f*). Außerdem wird eine gegenseitige Verspannung der Wände mittels quer durch das Schiff gezogene Bolzen bewirkt. Ist das Deck des Brückenschiffes vollständig zu (Textfig. 226 *d* u. *e*), so bilden die Deckenquerträger die erforderliche Absteifung. Der Abschluss der zugeschärften Enden der Schiffe wird durch den sogenannten Steven gebildet (Textfig. 226 *d* u. *e*), welche auch in manchen Fällen einen für die Ankerkette geeigneten Aufsatz erhalten.

Die Abmessungen der einzelnen Schiffshölzer sind nach der Größe und der Bestimmung der Brücke verschieden. Man macht die Rippenhölzer 15 bis 20 cm und diejenigen Spanten, an welchen die Ankerketten befestigt werden, 24 bis 30 cm stark.

Der Boden besteht seltener aus einer einfachen, 6 bis 7 cm starken Bohlenlage, meist ist eine untere 3 bis 4,5 cm starke und eine obere 3 cm starke Bohlenlage vorhanden. Die Bohlen für die Seitenwände werden 4 bis 5 cm stark gehalten und gewöhnlich nur an der unteren Bordkante in doppelter Schicht, sonst aber einfach angebracht. Sämtliche Fugen werden gut kalfatert und das Holzwerk mit Teer überstrichen. Bei der Lijmfjord-Brücke zu Aalborg (Textfig. 226 *a* bis *e*) ist eine Bekleidung der Schiffe mit Zinkblech angewandt worden.

Eiserne Brückenschiffe sind u. a. bei der vormaligen Mannheimer Brücke, auch für die Schiffbrücke bei Speier zur Anwendung gekommen. Dieselben haben eine Form erhalten, welche Stand- mit Tragfähigkeit verbindet und geringen Stau erzeugt. Länge 15 m, Breite 3 m, Höhe 1,2 bis 1,35 m, Metalldicke 3,75 mm, Gewicht 3000 kg.

Ein weiteres Beispiel bietet die 472 m lange Hoogly-Brücke in Kalkutta (Litt. 6 nach § 99). Dieselbe hat 14 Joche, von denen jedes auf einem durch Diagonalverband gekuppelten Paare von eisernen Schiffen steht, deren Abstand von Mitte bis Mitte 11 m beträgt. Die Abmessungen der Schiffe sind: 38,5 m Länge, 3 m Breite, 2,4 bis 3,3 m Tiefe, so daß sie einzeln nicht standsicher sind. Auf den Schiffen liegen je vier Tragbalken aus Teakholz, welche die 18,8 m breite Fahrbahn (einschließlich der zwei Fußwege von je 2,1 m) tragen. Diese Brücke kostete 3,2 Millionen M.; hiervon trafen auf die Schiffe 820000 M., auf die Anker 227500 M. und auf die Holzjoche 540000 M. Alles Eisen war aus England bezogen worden.

Ein ferneres Beispiel für die Anwendung von eisernen Prahmen zeigt die Überführung des Leinpfades über die Einfahrt des Winterhafens der Wasserbau-Inspektion Küstrin (Textfig. 223 u. 225). Die Seitenwände und der Boden der Prahme sind 3,25 mm, das mit Mannloch versehene Deck 1,5 mm stark. Die Länge jedes Brücken-

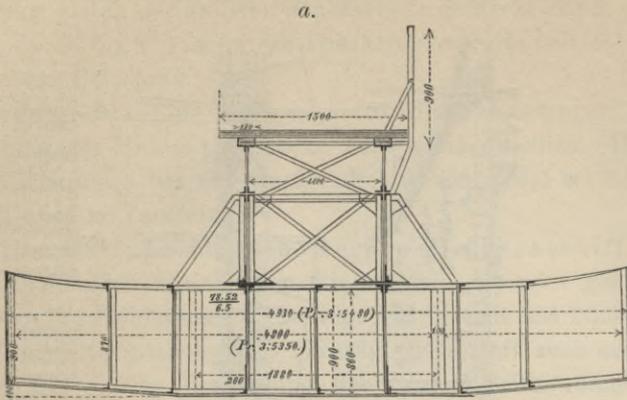
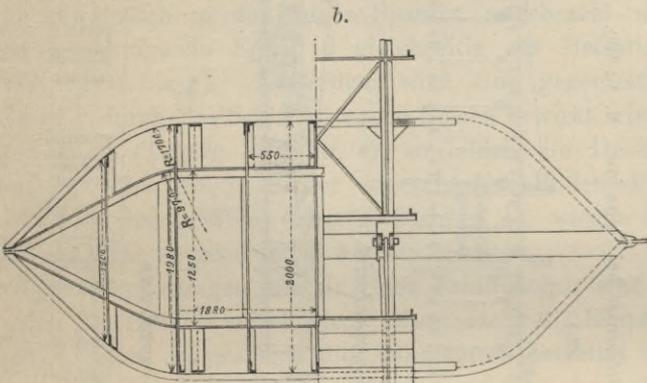


Fig. 225.
Prahmbrücke in Küstrin.

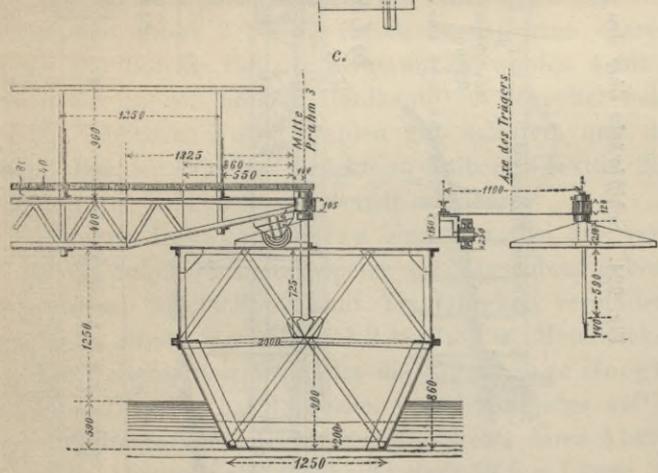
a. Längenschnitt durch einen Prahm.

M. 1 : 60.



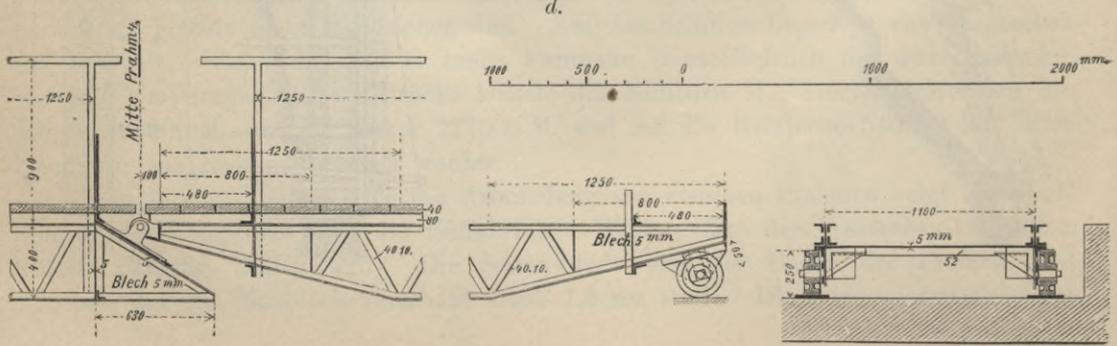
b. Grundriß der Prahme und der Brücke.

M. 1 : 60.



c. Querschnitt durch Prahm 3
(vergl. Punkt a der Textfig. 223).

M. 1 : 60.



d. Auflagerung der Klappenträger
über Prahm 4 (vergl. Textfig. 223)
und Einzelteile der Klappträger-
enden.

M. 1 : 40.

schiffes beträgt 4,8 m; nur Prahm No. 3 ist 0,55 m länger gemacht worden, um beim Ausschwenken der Öffnung 2—3 (Textfig. 223) eine genügend große Drehfläche zu erhalten. An den Steven ist der Boden um 10 cm gehoben. Auf den Prahmen ruhen, mittels verschieden angeordneter Bockgerüste von 52.52.6,5 mm Winkeleisen, die Träger auf. Die Eintauchung der einzelnen Fahrzeuge beträgt ohne Verkehrslast 0,54 m (bei Prahm 1) bis 0,59 m (bei Prahm 3). Diese Brücke kostete einschließlich Bohlenbelag 3200 M., also für ein Meter Länge etwas über 100 M. (Litt. 15 nach § 99).

Wesentliche Vervollkommnungen im Bau dieser Brückengattung zeigt die in neuerer Zeit an Stelle einer Flossbrücke erbaute 524,1 m lange Pontonbrücke über den Dünaström bei Riga. Sie setzt sich zusammen aus 14 Normalelementen, zwei ausfahrbaren Öffnungen zum Durchlassen der Schiffe und zwei den Anschluß der Brücken mit den Ufern vermittelnden Endelementen. Die grundsätzliche Ausgestaltung sowie die Hauptabmessungen dieser Brücke sind aus den Fig. 10 bis 14, Taf. I zu ersehen. Die Fahrbahntafel und Fußwege sind aus Holz. Ein Stromelement hat 32 m Länge und ist aus vier Fachwerksträgern mit kastenförmigen Gurtungen gebildet. Die Entfernung der diese Fachwerksträger stützenden Pontons ist 19,5 m, so daß über diese die Fachwerksträger um je 0,25 m herausragen (Taf. I, Fig. 10). Die Pontons sind vollkommen geschlossene Hohlkörper aus Eisenblech, die durch vier Querwände in fünf wasserdichte Einzelräume zerlegt werden. Die ovalen Pontons spitzen sich gegen beide Enden hin zu und endigen in einer scharfen Spitze (Taf. I, Fig. 11, 12 u. 13). Von Spitze zu Spitze sind die Normalelemente je 26,05, die Uferelemente je 23,16 m lang. Jede der fünf wasserdichten Abteilungen eines Pontons ist zur Vornahme von Nachbesserungen mittels gut abdichtender Mannlöcher zugänglich gemacht. Ein Ponton eines Normalelementes wiegt 22,3 t und besitzt eine Tragkraft von 180 t. Bei den Uferelementen verringern sich diese Zahlen auf 14,3 und 128 t. Das Gewicht des eisernen Oberbaues beträgt 1,9 t/m Brückenlänge. Als Nutzlasten sind der Tragkraftbestimmung 400 kg/qm für die Fahrbahntafel und 560 kg/qm für die Fußwege zugrunde gelegt worden (Litt. 20 nach § 99).

Die Verankerung der Brückenschiffe an stromaufwärts in den Fluß geworfenen Ankern ist durch die Strömung bedingt. Aber auch stromabwärts werden die Schiffbrücken zu verankern sein, wenn, besonders bei geringer Wassergeschwindigkeit, starke von unten kommende Winde zu befürchten sind. Gewöhnlich bekommt nicht jedes Schiff einen Oberanker (wie in Textfig. 226 der Stürme halber), sondern man begnügt sich bei zweischiffigen Brückengliedern mit einem Anker, bei dreischiffigen mit einem bis zwei Ankern (Textfig. 222).

Die Anker sind meist zweiarmig. Die Größe und das Gewicht derselben richtet sich nach örtlichen Verhältnissen (Wassertiefe, Strömung, Beschaffenheit der Flußsohle). Anker der Brücke bei Maxau 1,84 m lang, 1,08 m breit, bei 60 bis 80 mm Rutenstärke. Anker der Aalborger Brücke bei sehr schlechtem Ankergrunde in 10,2 m Wassertiefe, 1,1 m lang, 600 kg schwer.

Die Ankerketten, gewöhnlich aus zähem, weichem Schweifeseisen, bestehen aus 1,5 bis 2 m langen, durch gewöhnliche Kettenglieder verbundenen Stäben von 16 bis 18 mm Stärke. Kettenstärken bei der Aalborger Brücke 24 bis 35 mm. Theoretische Kleinstkettenstärke $d = 0,028 \sqrt{P}$, worin Zugkraft $P = \alpha \frac{v^2}{2g} F \gamma$ ist. Für die Stromgeschwindigkeit v und die vom Wasser gestoßene Fläche F muß jedoch der Sicherheit halber sehr reichlich gerechnet werden; α kann = 0,37 gesetzt werden; γ ist gleich 1000 kg. Über die zulässige Belastung, Bruch- und Probelastungen der Ketten vergl. auch Ingenieur-Taschenbuch „Hütte“ 1902, I. S. 660.

Die Ketten der Schiffbrücke bei Hüningen, unfern Basel, sind an starken hölzernen Böcken befestigt, weil die beweglichen Geschiebe des Oberrheins keinen brauchbaren Ankergrund darbieten.

Wo auf Ebbe und Flut Rücksicht zu nehmen ist, werden die Ankerketten durch Windevorrichtungen in ihrer Länge geregelt.

Als liegender Kreuzverband zwischen den einzelnen Schiffen eines Joches dienen Kreuzspannketten (Textfig. 222 *b*) mit Spannvorrichtungen.

In einer von der beschriebenen abweichenden Weise sind die Prahme der Schiffbrücke über den Stößensee bei Spandau verankert (Textfig. 224). Der 125 m lange bewegliche Teil dieser 150 m langen und 5 m breiten Brücke besteht aus zwei Gruppen von 6 beziehentlich 10 Prahmen, zwischen welchen zwei Gruppen ein auf zwei Prahmen ruhender, ausfahrbarer Brückenteil sich befindet. Dicht links und rechts von jeder Gruppe spannt sich, parallel zur Brücke, je ein Halteseil (22 mm starkes Drahtseil). Eingerammte Dükdalben von je drei Pfählen, zwei an jedem Ufer und vier an der Durchfahrtsöffnung bilden die Ankerpunkte zur Befestigung dieser Drahtseile. An den Drahtseilen sind die Prahme von jeder Ecke aus durch 8 mm starke Seile befestigt. Eine Strömung ist nicht vorhanden; das rechte oder linke Halteseil einer Gruppe wird in Anspruch genommen, je nachdem der Winddruck von rechts oder von links wirkt. Da der Unterschied der Wasserstände 2,21 m beträgt, so werden bei niedrigstem Wasserstande die Enden des Halteseils in den letzten Ring, bei steigendem Wasser in den vorletzten Ring einer Kette an den Dükdalben gesteckt; zwischen Seil und Kette sind außerdem noch Schraubenschlösser zur Änderung der Seillänge vorhanden. Die Gesamtkosten der Brücke betragen 21000 M.

Der Entwerfer der Brücke, Wasserbauinspektor Mohr, empfiehlt diese Bauart besonders für Kriegszwecke, da sich sämtliche Prahme, am Drahtseil befestigt, längs eines Ufers auffahren und dann durch Lösen des stromauf gelegten Kapptaues leicht, nach Art der Gierboote bis an das andere Ufer hinübertreiben lassen.

Andererseits wird aber dieser Konstruktion vorgeworfen, daß wenn dieselbe nicht wie hier in einem See Anwendung finden sollte, die fast in einer lotrechten Ebene hängenden Halteseile durch Seitenkräfte (Wind) sehr starke Horizontalzüge erleiden würden. Auch könnten durch Änderungen in der Angriffsweise der Horizontalkräfte, durch Wellenschlag bei Dampfschiffen und ähnliches beträchtliche Formänderungen des Halteseiles und hierdurch nachteilige Verschiebungen der Fahrbahn erzeugt werden. Endlich könnten dort, wo Schiffsdurchlässe anzubringen sind, die mittleren Dükdalben leicht unter dem Eisgange leiden.

In neuartiger Weise wurden die Pontons bei der Schiffbrücke über den Düna-strom bei Riga durch sich kreuzende Ketten (Taf. I, Fig. 12 u. 13) von 38 mm Gliedstärke verankert. Die eigenartige Gestalt der Pontonenden in Verbindung mit der eben erwähnten Verankerungsweise befähigt die Pontons, auch als sehr kräftige Eisbrecher zu wirken. Überdies verengen diese Pontons bei 5,5 m Wassertiefe die nutzbare Querschnittsfläche bloß um 6%. Näheres über die Wirkungsweise dieser Verankerung s. Litt. 20 nach § 99.

Was die Berechnung der erforderlichen Anzahl Schiffe anlangt, so wird man zu unterscheiden haben, ob die Balken, welche die Bahn tragen, nur auf zwei Prahmen aufliegen (Textfig. 222 *a* u. *b*, Joch *B*) oder ob Brückenglieder von je drei Prahmen gebildet werden, wobei die Balkenenden auf dem mittleren Prahm im Wechsel nebeneinander zu liegen kommen (Textfig. 222 *b*, Joche *A*, *C*). Die Länge der Balken beträgt gewöhnlich 12 bis 14 m.

Es möge zunächst der Fall vorausgesetzt werden, daß jedes Brückenglied nur aus zwei Prahmen gebildet wird. (Folgendes Zahlenbeispiel ist Beckers „Brückenbau“ entnommen.) Die Abmessungen des Prahms seien $l = 15$ m; $b = 3$ m; $h = 1,44$ m; Grundfläche 36,5 qm; Gewicht = 6500 kg; die 6,6 m breite Brückenbahn wiegt 200 kg f. d. lfd. m; die Verkehrslast 280 kg f. d. qm. Die größte Tauchung des Prahms wird zu 0,55 m angenommen. Dann ist das von beiden Prahmen verdrängte Wasservolumen = $2 \cdot 36,5 \cdot 0,55 = 40,15$ cbm und daher die Last, welche dieselben tragen können, = $40,15 \cdot 1000 - 2 \cdot 6500 = 27150$ kg. Ist nun die lichte Entfernung zwischen den Prahmen = x und die Länge eines Brückengliedes demnach (wenn die Balken um 1,05 m vor den Prahmen vor-

stehen) = $1,05 + 3 + x + 3 + 1,05 = 8,1 + x$, so beträgt die hierauf kommende Last = $(8,1 + x)(200 + 6,6 \cdot 280)$. Man hat daher die Gleichung $(8,1 + x)(200 + 6,6 \cdot 280) = 27150$, woraus $x = 5,1$ m folgt. Die Länge eines Gliedes beträgt also $(8,1 + 5,1)$ m = $13,2$ m und müßte man für eine z. B. 198 m zwischen den Landgliedern lange Schiffbrücke 15 Joche oder 30 Prahme haben.

Verwickelter gestaltet sich die Rechnung für den Fall, wenn jedes Brückenglied aus drei Prahmen besteht (z. B. Joch *A* und *C*, Textfig. 222 *a* u. *b*) und man auf den Zusammenhang, welcher zwischen den einzelnen Brückenjochen infolge des kräftigen Längsverbandes (vergl. § 97) stattfindet, Rücksicht nehmen will. Bei der Strafsen- und Eisenbahnbrücke über den Rhein bei Maxau ergaben sich mit den nachträglichen Probefahrt-Ergebnissen gut übereinstimmende Zahlenwerte, wenn man die Annahme machte, daß die auf ein dreischiffiges, 21 m langes Brückenglied wirkende Gesamtlast nicht nur von den 3 Schiffen des belasteten Joches, sondern auch von den Schiffen jedes der beiden benachbarten Brückenjoches, im ganzen also von 9 Schiffen getragen wird und dabei die Längenverbindungen wie Gelenke wirken. Da die zufällige Belastung der Eisenbahnbrücke zu 2500 kg f. d. lfd. m und die der Strafsenbrücke zu 8000 für ein Joch anzunehmen war, so berechnete sich hiernach die durch die zufällige Belastung erzeugte Mehrtauchung y der $63,4$ qm Grundfläche haltenden Prahme bei $7,7$ m Prahmabstand von Mitte zu Mitte aus der Gleichung:

$$\left[3 + \frac{2}{21} \left(\frac{6}{7} 18,2 + \frac{1}{2} 10,5 + \frac{1}{7} 2,8 \right) \right] 63,4 \cdot 1000 \cdot y = 21 \cdot 2500 + 8000$$

zu $y = 0,19$ m. Die von der Eigenlast der Brücke erzeugte Senkung ergab sich bei 14000 kg Pontongewicht, 2800 kg Gewicht des Schiffseinbaues und $21 \cdot 1200 = 25200$ kg Fahrbahngewicht zu $0,39$ m. Die Gesamttauchung findet sich also zu $0,19 + 0,39 = 0,58$ m.

Auf die genaueren Untersuchungen für Schiffbrücken mit durchlaufend zusammenhängenden Gliedern kann hier mangels an Raum nicht näher eingegangen werden. Eingehendere Arbeiten hierüber enthalten die Nummern 38, 41, 46 u. 66 des Litteraturnachweises S. 305 (vergl. auch Fortschrittsheft S. 130).

§ 97. Konstruktion des Überbaues und Unterstützung desselben durch die Schiffe. Längsverbindung der einzelnen Joche untereinander. Der Überbau der Strafsen-Schiffbrücken besteht, bei den meist kleinen Lichtweiten, aus einfachen, $0,7$ bis $0,9$ m voneinander abstehenden Streckbalken a , auf welchen ein einfacher oder doppelter, durch Saumschwellen b begrenzter Bohlenbelag c ruht (Textfig. 222 *d* u. *f*, Textfig. 231 *a*). Die Längsträger T der Eisenbahnbrücke zu Maxau (Textfig. 222 *a* u. *c*) sind aus zwei übereinanderliegenden Hölzern von $0,24 \cdot 0,24$ cm Querschnitt gebildet, auf welchen die Fahrschienen unmittelbar ruhen.

Ein Beispiel für die Anwendung von Eisen zeigt die Leinpfadbrücke über die Einfahrt des Winterhafens in Küstrin (Textfig. 225 *a* u. *b*).

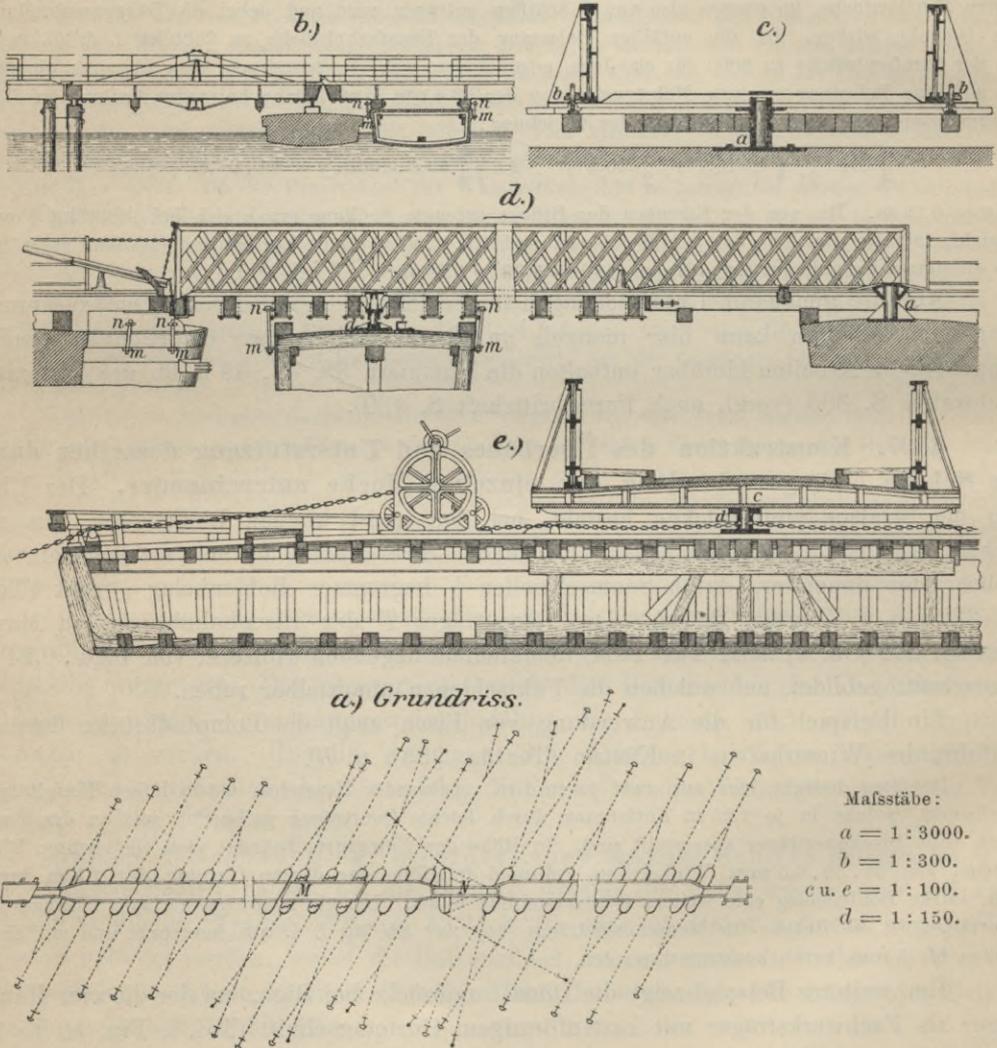
Der Steg besteht hier aus zwei je in 1 m voneinander liegenden, $0,4$ m hohen Hauptträgern (Fachwerk), welche in je $1,25$ m Entfernung durch leichte Querträger verbunden und an den Enden durch volle Blechquerträger ausgesteift sind. In Höhe der Untergurte befindet sich ein leichter Windverband von $39 \cdot 39 \cdot 6,5$ mm Winkeleisen, während in Höhe der oberen Gurtung der $1,5$ m breite, 4 cm starke Bohlenbelag eine weitere Querversteifung bildet. Um ein möglichst geringes Eigengewicht zu erzielen, ist die Brücke für Menschengedränge von nur 300 kg f. d. qm berechnet und mit Eisenstärken bis 5 mm herab konstruiert worden.

Ein weiteres Beispiel zeigt die Dünastrombrücke bei Riga, bei der die vier Hauptträger als Fachwerksträger mit kastenförmigem Gurtquerschnitt (Taf. I, Fig. 10 bis 14) ausgebildet sind. Die Auflagerung der Hauptträger auf den Pontons ist dabei derart fest (Taf. I, Fig. 10 u. 12), daß bei Formänderungen der Hauptträger (durch die Nutzlasten) die Pontons elastische Drehungen erfahren.

Die Unterstützung der Fahrbahn durch die Schiffe muß stets so angeordnet werden, daß der auf letzteren ausgeübte Druck nicht einseitig auf einen Schiffsbord wirke, sondern möglichst zentral auf das Schiffsgefäß übertragen werde. Bei zweischiffigen Brückenjochen müssen daher die Streckbalken der Fahrbahn über beide

Schiffe reichen (Textfig. 222 *a* u. *b*, Joch *B*) und mit denselben fest verbunden werden. Bei dreischiffigen Jochen werden, wie schon erwähnt, die Streckbäume über dem mittleren Schiffe mit ihren Enden nebeneinander im Wechsel gelegt (Textfig. 222 *b*, Joche *A* und *C*). Beispiele, in welcher Weise das Gewicht der Bahn nicht nur auf die Schiffsborden, sondern auch auf den Schiffsboden übertragen wird, zeigen die Textfig. 225 *a* u. 231 *a*. Um den Normalabstand zwischen den benachbarten Prahmen zu sichern, werden die Schwellen *g* etwas in den Streckbaum *a* eingelassen (Textfig. 231 *a*). Außerdem dienen hierzu die Durchsteckbolzen *k* (Textfig. 231 *a*).

Fig. 226. Schiffsbrücke bei Aalborg in Dänemark.



Bei der Aalborger Brücke (Textfig. 226 *b* u. *d*) ist eine von den beschriebenen abweichende Befestigung der Fahrbahn an den mit Verdeck versehenen Schiffen angewandt worden. Die drei Prahme eines jeden Joches stehen 11 m von Mitte zu Mitte entfernt und es sind an jeder Bordseite derselben vier eiserne Ösen *m* angebracht. Entsprechende Ösen *n* sitzen auch an den betreffenden hölzernen Querträgern der Fahrbahn. Zur Verbindung der Bahn mit den Schiffen werden durch je zwei Ösen 26 mm starke Schraubenbolzen mit Muttern durchgesteckt. Als Vorteil dieser Konstruktion ist hervorzuheben, daß im Falle einer erforderlichen Ausbesserung das schadhafte Schiff, ohne den Verkehr lange zu stören, leicht durch einen Vorratsprahm ersetzt werden kann.

Die Längsverbindungen der einzelnen Joche untereinander sind sehr wesentlich bei der Konstruktion einer Schiffbrücke. Diese Verbindungen müssen, um den Druck übertragen zu können, die nötige Festigkeit und Steifigkeit besitzen, dabei aber auch, besonders bei den Durchlafsgliedern der Brücke (vergl. § 98), ein rasches Schließen und Öffnen gestatten.

Ein einfacher Keilverschluss zwischen der Ausfahrtöffnung und dem angrenzenden Prahm, in der Schiffbrücke über den Stöfensee bei Spandau, ist in der Textfig. 227 dargestellt. Die Textfig. 228 *a* u. *b* zeigen die bei der Maxauer Brücke angewandte Konstruktion. Die Kuppelung der Mitteljoche erfolgt durch vier Spannketten *nn* und außerdem bei den Strafsenträgern durch sogenannte Röddebalken *BB* (Textfig. 228 *b*), welche auf 3 m Länge die Saumbalken *C* der Fahrbahn ersetzen und durch eiserne Bügel mit Druckschrauben *r* niedergedrückt werden. Statt der Druckschrauben findet man bei anderen Brücken Keile *k* (Textfig. 231 *a*). Bei der Eisenbahnbrücke sind außerdem vier Spannketten ebenfalls 3 m lange Röddebalken *BB* (Textfig. 228 *a*) angeordnet, welche durch eiserne Bänder mit Keilen *i* festgehalten werden. Das auf den Röddebalken liegende 3 m lange Schienenstück ist durch Laschen mit den benachbarten Schienen verbunden und es müssen die Laschenschrauben gelöst werden, wenn die Verbindung der Brückenjoche aufgehoben werden soll.

Fig. 227.
Prahmbrücke, Stöfensee. Keilverschluss der Ausfahrtöffnung. M. 1:100.

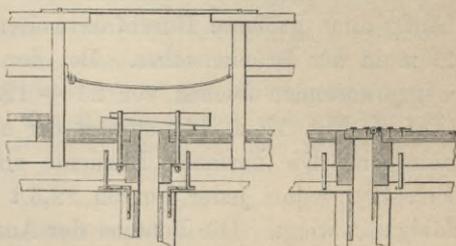


Fig. 228. Schiffbrücke bei Maxau. Kuppelungen der Mitteljoche. M. 1:80.

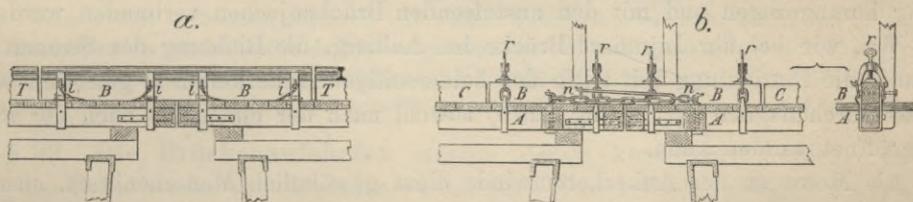
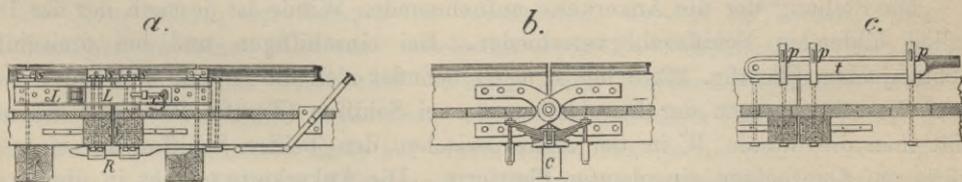


Fig. 229. Kuppelungen der Mitteljoche mit den Durchlafsjochen (*a* u. *c*) und den Endjochen (*b*).



Die Textfig. 229 *a* bis *c* stellen die Kuppelungen zwischen den Durchlässen unter sich und mit den Mitteljochen der Maxauer Brücke dar. Außer den vier Spannketten *nn* (vergl. Textfig. 228 *b*) sind bei den Strafsenträgern die durch Bänder und Keile *p* gehaltenen Druckhebel *t* (Textfig. 229 *c*) angeordnet, während bei den Eisenbahnträgern (Textfig. 229 *a*) die Längsverbindung ergänzt wird: 1. durch starke Vorsteckriegel *R*, 2. durch starke schweißeiserne, gelenkartige Laschen *L*, die sich in die Γ -förmigen Verstärkungsbacken der Langschwelen einlegen und durch Vorsteckkeile *x* gehalten werden, 3. durch drei kleine Splintbolzen an den 3 m langen, über dem Stofse ruhenden

den Schienenstücken des Gleises, wodurch diese Schienen mit den an die Langschwellen festgeschraubten Winkeleisen *ss* fest verbunden werden.

Die Verbindung der Hauptträgerenden bei der Pontonbrücke über den Düna-strom bei Riga (Taf. I, Fig. 14) gestattet mittels Stellschrauben an den zusammenstossenden Kragarmenden letztere derart zu kuppeln, dafs ein elastisches Übertragen einzelner Lasten auf eine gröfsere Anzahl von Pontons und damit ein gleichmäfsigeres Eintauchen der ungleich belasteten Pontons erzielt wird (Litt. 20 nach § 99).

§ 98. Durchlafsglieder. Zum Durchlassen von Schiffen erhalten die Schiffbrücken ein oder mehrere Durchlafsglieder, welche gegen 12 m Lichtweite für Flussschiffe und gegen 14 m Lichtweite für Dampfboote haben müssen. Doch findet man häufig auch gröfsere Durchfahrtweiten, z. B. bei der Aalborger Brücke (Textfig. 226) 29 m in der Brückenachse. Bei der Maxauer Brücke besteht der Durchlaf aus drei wegzufahrenden Jochen von $21 + 12,5 + 21 = 54,5$ m. Bei der Rigaer Schiffbrücke (Taf. I, Fig. 10 u. 11) beträgt der ausfahrbare Teil 23,16 m und ist von zwei Pontons getragen. Die normalen Elemente sind jedoch $19,50 + 2 \cdot 6,25 = 32,0$ m lang (Taf. I, Fig. 10), wobei jeder Ponton 22,3 t und der eiserne Oberbau 60,6 t bei 180 t Tragfähigkeit wiegt. Die Pontons der Ausfahrtöffnungen, die blofs 128 t Tragfähigkeit aufweisen, wiegen je 14,3 t.

Das Öffnen des Durchlasses geschieht, indem man nach Lösung der Verbindungen mit den anstossenden Brückenjochen ersteren von der Strömung soweit abwärts treiben läfst, bis das Durchlafsglied mittels des Steuerruders unterhalb der Brücke um das erforderliche Mafs seitwärts gelenkt werden kann. Hierbei wird die Verankerungskette so viel als nötig durch Abbinden verlängert. Umgekehrt wird diese Kette wieder aufgewunden, wenn der Durchlaf, nach Einstellung in die Achse der Öffnung, wieder in die normale Stellung herangezogen und mit den anstossenden Brückenjochen verbunden werden soll.

Wo, wie bei der Lijmfjord-Brücke bei Aalborg, die Richtung des Stromes wechselt, mufs die Einrichtung mit Hilfe der beiderseitigen Ankerketten so getroffen werden, dafs das Durchlafsglied *M* (Textfig. 226 *a*) sowohl nach der einen, als nach der anderen Seite geöffnet werden kann.

Als Motor an der Ankerkettenwinde dient gewöhnlich Menschenkraft, ausnahmsweise, wie bei der oben erwähnten Mississippi-Schiffbrücke bei Prairie du chien, eine 20 pferdige Dampfmaschine.

Die Stellung der die Ankerkette aufnehmenden Winde ist je nach der das Durchlafsglied bildenden Schiffszahl verschieden. Bei einschiffigen und bei dreischiffigen Durchlafsjochen (Textfig. 222 *b* bei *A* u. *C*) befindet sich die Winde *W* in der Schiffsachse. Besteht dagegen der Durchlaf aus zwei Schiffen (Textfig. 222 *b* bei *B*), so befestigt man die Winde *W* in der Mitte zwischen den beiden Schiffen auf einer flussabwärts auf Querbalken eingebauten Plattform. Die Ankerkette *u* geht in diesem Falle unter der Fahrbahn weg nach dem Anker.

Bei mehrschiffigen Durchlafsgliedern werden die Steuer *v* (Textfig. 222 *b*) der einzelnen Schiffe mittels Stangen *s* in gegenseitige Abhängigkeit gebracht. Bezüglich der Länge der Ankerketten *u* ist einerseits die Entfernung, um welche der Durchlaf beim Öffnen stromabwärts treiben mufs, andererseits der grösste Tiefgang der den Flufs befahrenden Schiffe, welche auf die Kette bei Niederwasser nicht auffahren sollen, mafsgebend.

Von den 12 beweglichen Jochen der Koblenzer Schiffbrücke wird eines mit Dampf, ein zweites mit geprefster Luft aufgefahren. Das erstere besteht aus drei

eisernen Prahmen; der mittlere enthält den Dampfkessel, eine doppelte Dampfwinde und eine Luftpressemaschine. Von der Dampfwinde sind die Ketten über die Seitenprahme geführt. Das mit gepresster Luft bewegbare Joch hat drei hölzerne Prahme; in den äußeren befindet sich je eine kleine Zwillingmaschine, welche die Ankerwinden mittels Riemenübersetzung treiben, und der Behälter für die gepresste Luft. Diese wird von der Luftpressemaschine auf dem sogenannten Dampfjoch in auslösbarer Leitung zugeführt. Die Behälter werden bis auf 5 Atmosphären gespeist. Eine volle Speisung genügt für dreimaliges Auffahren. Das Dampfjoch wird nur bei Tage, das sogenannte Luftjoch bei Tage und Nacht geöffnet.

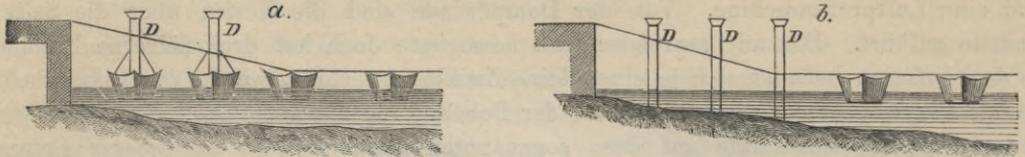
Anstatt der beschriebenen Durchlaufkonstruktionen ist bei der Aalborger Brücke eine Schiffsdrehbrücke *N* (Textfig. 226 *a, c u. e*) zur Anwendung gekommen, welche sich durch Sicherheit und Schnelligkeit der Behandlung auszeichnet. Dieselbe überspannt eine Öffnung von 21 m in der Brückenachse oder 17 m senkrecht zum Stromstrich gemessen. Der aus eisernen Hauptträgern und hölzernen Querträgern bestehende Überbau dreht sich um einen schmiedeeisernen, an dem letzten Schiffe des benachbarten Joches angebrachten Zapfen *a* (Textfig. 226 *c u. d*) und läuft daselbst mittels zweier gußeisernen Rollen *b* von 314 mm Durchmesser und 104 mm Breite auf einem auf dem Schiffsdeck angebrachten schmiedeeisernen Laufkranze von 130.26 mm. Das vordere Ende der Brücke ruht auf einem besonderen Schiffe, welches beim Öffnen des Durchlasses eine entsprechende Schwenkung ausführt. Zuerst hatte man die Absicht gehabt, auch das Vorderende der Drehbrücke auf einen Drehzapfen *d* zu lagern (Textfig. 226 *d u. e*), damit das sich bewegende Schiff sich immer in Richtung des Stromes einstelle; doch ist man der größeren Steifigkeit halber hiervon abgegangen und hat den Überbau an dem Vorderende mit dem Schiffe fest verbunden (Kuppelung *m n*, Textfig. 226 *d*). Hierdurch entstand freilich der Nachteil, daß der Drehzapfen und die übrigen Verbindungsteile einen größeren Seitendruck auszuhalten haben. Doch haben sich deshalb keine Mifsstände herausgestellt. Die Drehbrücke wiegt ungefähr 30 Tonnen und wird gewöhnlich durch drei Brückenwärter bei ruhigem Wetter in zwei Minuten geöffnet und geschlossen.

Auch bei der Leinpfad-Prahmbrücke bei Küstrin (Textfig. 225 *c u. d*, S. 246) ist der 10,6 m lange Teil zwischen den Prahmen 2 und 3 als Drehbrücke ausgebildet. Die Träger dieser Öffnung sind mit dem Prahm 2 fest verbunden, während auf Prahm 3 der eine mit einer Rolle von 25 cm Höhe aufruhet, der andere um einen Zapfen drehbar angeordnet ist. Dieser auf den beiden Prahmen ruhende Brückenteil kann durch Ziehen an einer aufsen- und binnenseitig verankerten, über Prahm 2 laufenden Kette ausgeschwenkt werden. Hierdurch entsteht eine Durchfahrtsöffnung von 9,5 m Lichtweite.

§ 99. Die Brückenauffahrten müssen derart konstruiert werden, daß die Neigung der Bahn bei den verschiedenen wechselnden Wasserständen geregelt werden kann. Je nach dem größten Unterschied der Wasserstände und der zulässigen Ansteigung der Bahn (bei Straßen höchstens 7%) bestimmt sich die Länge der Auffahrtsrampe.

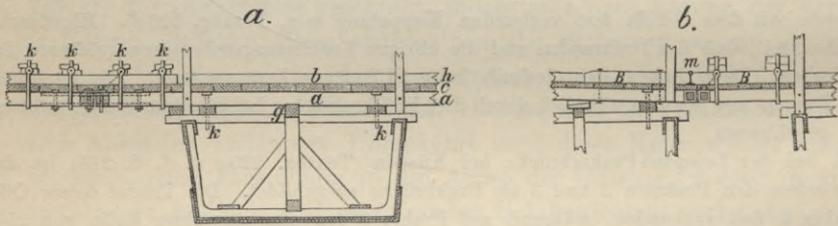
Die Konstruktion der Rampen ist verschieden. In den einfachsten Fällen bestehen dieselben aus einer Plattform, welche an einem Ende drehbar am Ufer, an dem anderen Ende aber an das erste Schiff befestigt sind. Seltener ist die Drehachse der Klappe auf dem ersten Schiffe angeordnet, wie bei der Aalborger Brücke (Textfig. 226 *b*), während das entgegengesetzte Ende auf einem festen Pfahljoche aufruhet und hier befestigt werden kann. Bei der Küstriner Leinpfad-Prahmbrücke (Textfig. 223) befindet sich die Drehachse der Klappe ebenfalls auf dem letzten Schiffe, während das hintere Klappenende mittels Rollen von 25 cm Höhe auf dem festen Widerlager ruht (Textfig. 225 *d*, S. 246) und hier außerdem durch Ketten befestigt ist. Gewöhnlich dienen zum Tragen der Auffahrtsrampen besondere Bockgerüste *D*, welche entweder in den Flußgrund eingerammt werden (Textfig. 230 *b*), oder, bei größerer Wassertiefe, auf besonderen Bockschiffen stehen (Textfig. 230 *a*). Bei flach geneigten Ufern muß die Fahrbahn landeinwärts soweit auf Bockgerüsten gelagert werden, als das Hochwasser reicht.

Fig. 230. Brückenanfahrten.



Textfig. 222 *a* u. *c* zeigen die Konstruktion der 5,86 m voneinander abstehenden Landböcke der Maxauer Schiffbrücke, bei welcher der Unterschied zwischen Nieder- und Hochwasser 5,1 m und die größte Steigung der 35,1 m langen Strafsenrampe 5 0/0, dagegen die der 64,4 m langen Eisenbahnrampe 3,5 0/0 beträgt. Die Strafsenbahn-Längsträger *a* (Textfig. 222 *c*) ruhen durch Vermittelung der hölzernen Unterzüge *b* auf starken eisernen Bolzen *s*, welche durch entsprechende Löcher der Jochständer gesteckt werden. Zum Heben oder Senken der Bahn bei wechselnden Wasserständen bedient man sich einfacher Zugwinden.

Bei der Eisenbahnbrücke sind die Längsträger auf eiserne, an Schraubenspindeln hängende Unterzüge *c* (Textfig. 222 *c*) gelagert und es erfolgt die Auf- und Abwärtsbewegung, wie die Figur zeigt, mit Hilfe eines einfachen Kurbelmechanismus *d*. Der Kerndurchmesser der Schraubenspindeln beträgt 63 mm. Ganz ähnlich sind auch die Gerüste zum Tragen der Bahn auf den Bockschiffen konstruiert (Textfig. 222 *a* u. *b*), nur sind hier die Unterzüge auch bei der Eisenbahnbrücke aus Holz und mit einem eisernen Hängewerke verstärkt.

Fig. 231. *a*. Steife, *b*. gelenkige Kuppelung. M. 1 : 120.

Der Anschluß der Anfahrtbahn an das erste Brückenjoch wird in ähnlicher Weise wie zwischen den einzelnen Jochen mittels Röddebalken, Bändern und Keilen hergestellt, doch müssen hier die Röddebalken *B* (Textfig. 231 *b*) ein die Beweglichkeit der Verbindung ermöglichendes Gelenk *m* erhalten (im Gegensatz zu der in Textfig. 231 *a* dargestellten steifen Verbindung zweier Brückenjoche).

Bei der Maxauer Eisenbahn-Schiffbrücke sind die das Gleis tragenden Doppelträger an dem ersten Landbocke und an dem ersten Schiffsbocke gestossen und die Stöße mit Federung versehen (Textfig. 229 *b*, S. 251), so daß der Druck auf die an den lotrechten Schraubenspindeln hängenden Unterzüge *c* (vergl. Textfig. 222 *c*) nicht unmittelbar, sondern nur durch Vermittelung der Federn übertragen werden kann.

Eine neue und eigenartige Ausgestaltung erfährt die eben besprochene Gruppe G. durch den kürzlich beschlossenen Bau einer 472 m langen Schiffbrücke über das Goldene Horn von Stambul bis Galata nach den Plänen der Vereinigten Maschinenfabrik Augsburg und Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg.

Die nutzbare Verkehrsbreite beträgt durchaus 20 m (hievon entfallen $2 \times 3,4$ m auf die Fußwege), während stellenweise die Brückenbreite auf 37,6 m Breite anwächst, da auf der Brücke Räume für Militär, die Verwaltung und Läden, sowie 7 Landstellen für Schiffe vorgesehen sind. — In Brückenmitte kann durch Ausdrehen zweier unsymmetrischer Brückenkörper eine freie Durchfahrtsöffnung von insgesamt 54 m geschaffen werden; jedoch auch in eingedrehtem Zustand bietet jeder dieser beiden Brückenkörper ein Durchfahrtsprofil von rund 12 m Breite und 5 m Höhe. — Schwimmkörper und Tragsystem durchaus aus Eisen; bloß die die Verkehrslasten unmittelbar aufnehmenden Fahrbahtafelteile sind aus Holz. — Bauzeit: 2 Jahre.

Litteratur

(zugleich nach der Zeitfolge geordneter Quellenachweis).²²⁾

Schwimmende Brücken betreffend.

1. Lewis. Schwimmende Brücke. Engng. 1866, S. 122.
2. Eisenbahn-Schiffbrücke bei Maxau. Becker. Handb. d. Ing.-Wissensch. Bd. 5, Heft 5. Stuttgart 1865. — Morandière 1874, Bd. 6, Taf. 304 u. 305.
3. Hartwich. Fähranstalten für den Eisenbahnverkehr der Rheinischen Eisenbahnen bei Rheinhausen. 1867 mit 7 Tafeln.
4. Reimers. De schipbrug over den Lijmfiord bij Aalborg in Denemarken. Verhandelingen van het koninkl. Inst. van Ing. 1867/68, S. 78.
5. Provisorische Schiffbrücke über die Seine zu Asnières. Nouv. ann. de la constr. 1871, S. 82 mit Taf. 43 u. 44. — Zeitschr. d. österr. Ing.-Ver. 1872, S. 10.
6. Pontonbrücke über den Hooghly in Kalkutta. Engng. 1872, I. S. 338. — Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1877, S. 702. — Ann. des ponts et chaussées 1878, I. S. 443.
7. Kochs patentierte Pontonbrücke. Engineer 1872, I. S. 181.
8. Schiffbrücke über die Seine zu Suresnes. Nouv. ann. de la constr. 1871, S. 90 mit Taf. 45. — Engng. 1872, I. S. 139 mit Abb. — Zeitschr. d. österr. Ing.-Ver. 1872, S. 11.
9. Flosbrücken-Konstruktion. Nouv. ann. de la constr. 1872, S. 138.
10. Schiffbrücke zu Château-Gontier. Ann. des ponts et chaussées 1874, I. S. 227 mit Taf. A.
11. Schiffbrücke für den Eisenbahnverkehr über den Mississippi. Engineer 1874, II. S. 255.
12. Schwimmende Brücke über die Donau zum Zwecke des russisch-türkischen Krieges. Deutsche Bauz. 1877, S. 471.
13. Die neue Schiffbrücke über den Stöfensee bei Spandau. Zentralbl. d. Bauverw. 1883, S. 129 mit Abb.
14. Flosbrücken als Kriegsbrücken. Mitteil. über Gegenstände des Artillerie- und Genie-Wesens 1884, S. 111.
15. Leinpfad-Anlage und Prahmbrücke bei Küstrin. Zentralbl. d. Bauverw. 1885, S. 470 mit Abb.
- *16. Kirch. Schwimmende Fußgängerbrücke über die Einfahrt zum Mosel-Sicherheitshafen bei Koblenz. Zeitschr. f. Bauw. 1888, S. 497 mit Abb. u. Taf. — Fortschrittshft S. 87, Fig. 84.
17. Henket, Schols en Telders. Waterbouwkunde 1888, 3. Teil, XIV. Abt. Schiffbrücken: Über den Kanal von Amsterdam nach Merwede; Limfordbrücke (Dänemark); Rheinbrücke bei Maxau und über den Ysel zu Donsburg mit Taf. 40 bis 44.
- *18. Rechtern u. Arnold. Der Bau der 2. Hafeneinfahrt in Wilhelmshaven (Schwimmponton). Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1891, S. 363 u. 475 mit Taf.
- *19. Doell. Kosten von Schiffbrücken. Zentralbl. d. Bauverw. 1893, S. 83.
- *20. A. Agthe. Pontonbrücke über den Dünastrom bei Riga. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1895, S. 39 mit Abb.
- *21. Talansier. Ponts flottants articulés. Génie civil 1895/96, Bd. 28, S. 404 mit Abb.
22. H. v. Ripper. Europäische Kriegsbrückensysteme (Pontonbrücken). 1895 mit Taf.
29. Schulz und Fülcher. Der Kaiser Wilhelm-Kanal 1898, Pontondrehbrücke I. S. 52 mit Abb.; Prahmdrehbrücke I. S. 22 mit Abb. u. S. 117.

H. Die Fähr- und Landebrücken.

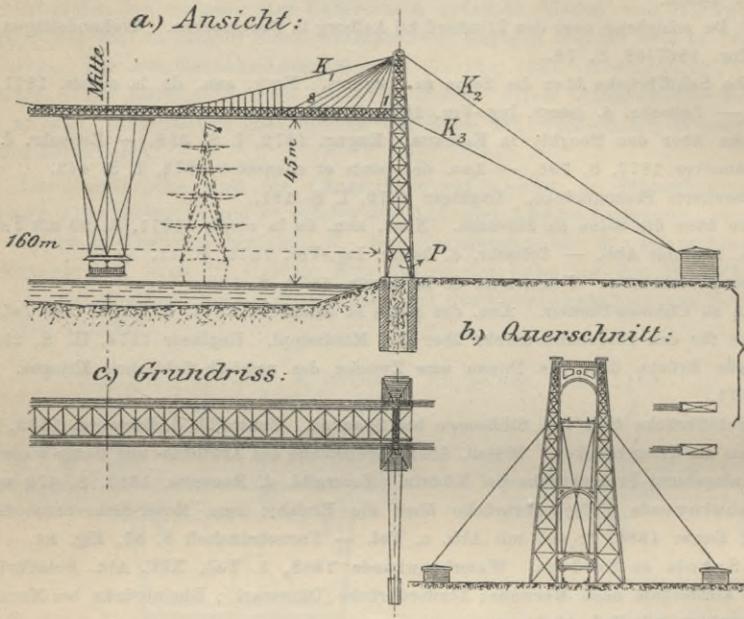
§ 100. **Konstruktionsgrundsatz der Fährbrücken.** Eine feste Brücke bildet die Laufbahn einer hängenden, frei schwebenden Fähre, die mittels maschinellen Antriebs über das zu überbrückende Objekt (Fluss, Kanal oder Schlucht) hin und her bewegt wird. Handelt es sich blofs um Personenverkehr (Fährbrücke bei Brighton, Textfig. 234), so wird die Fähre als Gondel ausgestaltet; bei grossem Verkehr (Fußgänger und Fuhrwerke) wird die Fähre als offene, oder zum Schutz gegen Witterungsunbilden auch geschlossene Bühne ausgebaut (Fähre von Portugalete, Textfig. 232). Die Idee stammt aus dem Jahre 1869.²³⁾

²²⁾ Siehe Anm. 3, S. 18.²³⁾ Scientific american 1869, 29. Mai.

§ 101. **Anordnung der Tragbrücke.** Zwei bisher stets aus Eisen hergestellte Turmpfeiler (jene der Textfig. 232 sind 61 m hoch) tragen die feste Brücke, die bisher fast stets als unversteifte oder versteifte Kabelbrücke ausgeführt wurde (Textfig. 232 u. 234). Die Pylonen selbst werden meist durch Kabel entsprechend rückverankert.

Die Gesamtanordnung des ersten großen Bauwerkes dieser Art, der Fähre von Portugalete, ist aus Textfig. 232 ersichtlich.

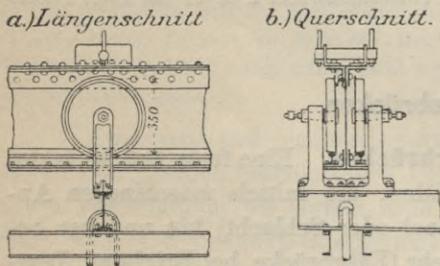
Fig. 232 a bis c. Fährbrücke von Portugalete. M. 1 : 2000.



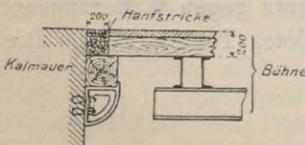
§ 102. **Anordnung der Fähre; Bewegungsmechanismus.** Bei kleinen Fähren für Personenverkehr allein genügt zur Führung des Fahrwagens (Gondel), der bei der Brightoner Fährbrücke $2,13 \cdot 1,52 = 3,24$ qm Grundfläche besitzt und 8 Personen Raum bietet, die durch eine in Textfig. 234 b dargestellte Führung mittels eines Laufkabels,

Fig. 233 a bis c. Schwebefähre.

a) u. b) Anhängung der Kabel. M. 1 : 35.



c) Anschluss der Bühne am Ufer. M. 1 : 66.

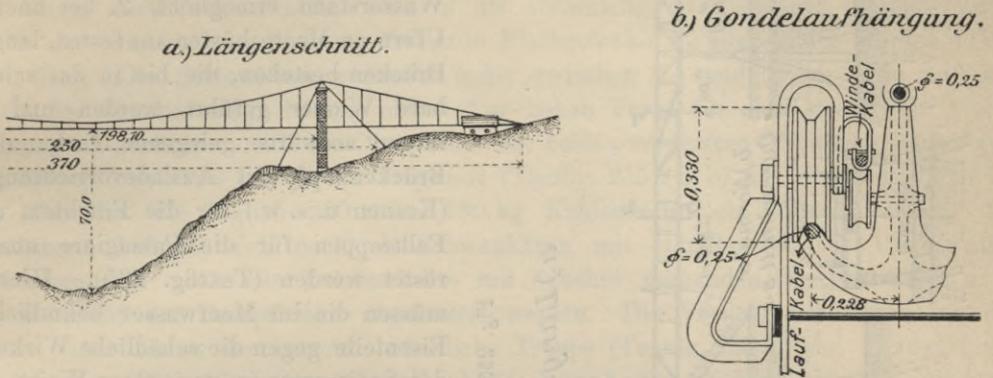


während ein zweites Kabel, das Triebkabel, die Hin- und Herbewegung betätigt. Die Triebkraft leistet bei letztgenannter Brücke ein $4\frac{1}{2}$ pferdiger Petroleummotor. Textfig. 234 b zeigt auch den Sicherheitsbügel, der im Notfall dem Triebkabel, das zur Winde führt, gestattet, sich auf am Anker angeschlossene Rollen zu legen, wodurch dem Wagen eine seitliche Stützung gegen Entgleisen geboten wird. Die ganze Anlage hat sich im Betrieb gut bewährt (vergl. Litt. 19 nach § 105).

Die Führung einer großen Bühne (Fährbrücke über die Seine bei Rouen) zeigt Textfig. 233; desgleichen den Anschluss der Bühne am Ufer. Für die neueren großen Fährbrücken mit Bühnen von 100 bis 120 t Gesamtgewicht, einschliesslich des Verkehrsgewichtes, deren Auf-

hängungsweise aus Textfig. 233 unmittelbar ersichtlich, ist bei 2 Sekundenmetern Geschwindigkeit elektrischer Antrieb mit 25 PS. Kraftleistung vorgesehen. Die Maschine hat aber hierbei auch der elektrischen Beleuchtung und allenfalls der Kohlen- und Wasserförderung zu dienen; für den eigentlichen Fährbetrieb entfallen demnach blofs 5 PS.

Fig. 234. Fährbrücke bei Brighton. Mafsstäbe: $a = 1 : 3200$, $b = 1 : 20$.



Eine wesentliche Neuerung bezüglich der Ausbildung der Tragkonstruktion weist die Schwebefähre bei Duluth (Nordamerika) auf, bei der ein Fachwerkträger von 15,24 m Höhe die Laufbahn bildet. Lichtweite: 120 m und Lichthöhe: 41,16 m. Näheres siehe Litt. 32 nach § 105.

§ 103. Einzelheiten ausgeführter Fährbrücken. Die erste 1892 von Palacio erdachte und von Arnodin erbaute Brücke bei Portugaleta (Textfig. 232), sowie drei weitere 1897 bis 1900 von letzterem erbauten Fährbrücken mit ähnlichen Abmessungen sind durchaus für 275 kg/qm Winddruck bemessen; die verwendeten Kabel besitzen 9000 kg/qcm Bruchfestigkeit und die Fährwagen zeigen alle einen ganz ruhigen Gang auch bei sehr stürmischem Wetter. Die Fährbrücke bei Rouen über die Seine wird bei 143 m Lichtweite, bei 13,2 qm Grundfläche und 100 t Gewicht der Bühne, hiervon 52,5 t Nutzlast, täglich 240 mal befahren. Bei 50 m Lichthöhe des Durchfahrtsprofils kostete sie 680000 Fr. (vergl. Litt. 23 nach § 105).

Eine wesentliche Verbesserung der neuesten Fährbrücken besteht in der Regelung der Bewegung von der Fähre aus, während ursprünglich die Steuerung von einem im Turm untergebrachten Wärter aus erfolgte, was bei unsichtigem Wetter Mifsstände mit sich brachte.

§ 104. Allgemeines. Unbestreitbare Vorzüge dieser Brückenart sind: 1. Geringe erforderliche Grundfläche, 2. ungehinderter Verkehr zu jeder Zeit auf der Wasserstrafse, da die Fähre beliebig halten, vor- und rückwärts fahren kann, 3. Unabhängigkeit von Witterungsverhältnissen, Strömung und Eisgang, 4. Wegfall einer auf die Brückenlänge durchlaufenden Fahrbahntafel, 5. Entfall von Zufahrtsrampen und 6. äufserst ruhige und angenehme Fahrt der Bühne.

Jedenfalls kann diese Brückengattung besonders bei der für die Duluther Fähre getroffenen Ausgestaltung auch für Eisenbahnzwecke vorteilhafte Anwendung finden. Eingehendere Angaben: Litt. 18, 22, 23, 27 u. 30 nach § 105.

§ 105. Landungsbrücken. Für das Anhalten von Passagier- und Frachtschiffen an bestimmten Landungsplätzen sind Landungsbrücken erforderlich, die 1. bei genügender

Wassertiefe für die anfahrenden Schiffe meistens aus einer einfachen Brücke bestehen, deren eines Ende am festen Ufer um eine wagerechte Achse drehbar auflagert, deren anderes auf einem schwimmenden Kai lagert (Fortschrittsheft Fig. 86, S. 89 u. Fig. 87, S. 90) oder an einem festen Ständer lotrecht verschieblich hängt (Fortschrittsheft Fig. 85, S. 88) und derart die Verbindung zwischen Schiff und Festland bei jedem Wasserstand ermöglicht, 2. bei flachen Ufern an Meeresküsten aus festen, langen Brücken bestehen, die bis in das schiffbare Wasser geführt werden und an ihrem seewärts gelegenen Ende, dem Brückenkopf mit Ausladevorrichtungen (Kranen u. s. w.) für die Frachten, und Falltreppen für die Passagiere ausgerüstet werden (Textfig. 235). Hierbei müssen die im Meerwasser befindlichen Eisenteile gegen die schädliche Wirkung des Seewassers in geeigneter Weise geschützt werden.

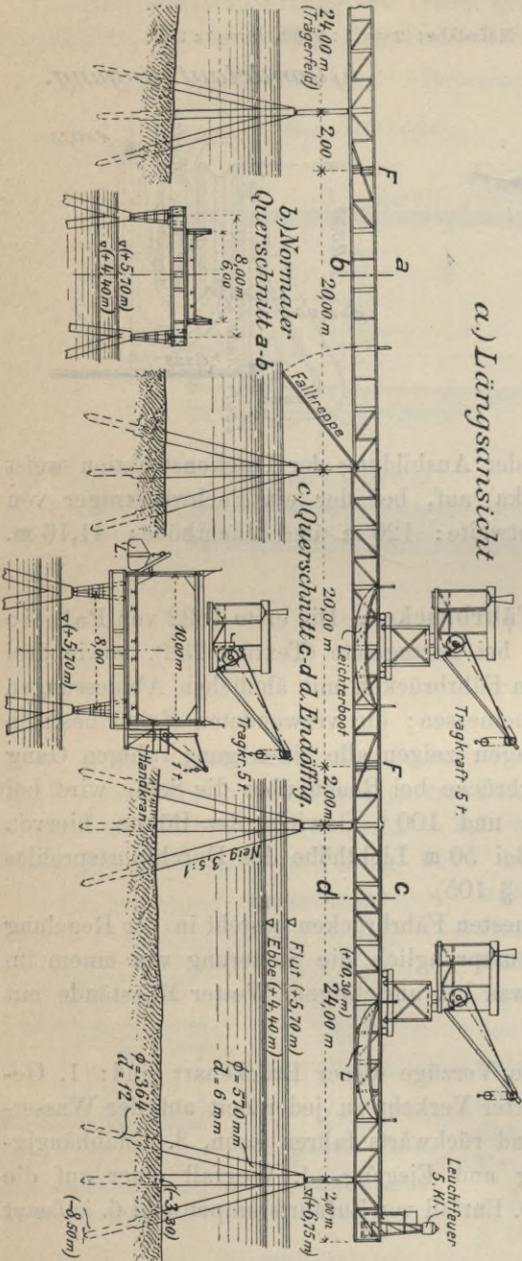


Fig. 235. Landebrücke in Lome (Togo). M. 1:500.

S. 88) und derart die Verbindung zwischen Schiff und Festland bei jedem Wasserstand ermöglicht, 2. bei flachen Ufern an Meeresküsten aus festen, langen Brücken bestehen, die bis in das schiffbare Wasser geführt werden und an ihrem seewärts gelegenen Ende, dem Brückenkopf mit Ausladevorrichtungen (Kranen u. s. w.) für die Frachten, und Falltreppen für die Passagiere ausgerüstet werden (Textfig. 235). Hierbei müssen die im Meerwasser befindlichen Eisenteile gegen die schädliche Wirkung des Seewassers in geeigneter Weise geschützt werden.

Landebücke in Lome (Togo). Die in Textfig. 235 dargestellte Brücke gliedert sich in den 52 m langen Brückenkopf, dessen Querschnitt Textfig. 235 c zeigt, an dem die vom und zum Dampfer gehenden Boote ent- und beladen werden, und der 252 m langen Zufahrtsbrücke, deren Anordnung aus Textfig. 235 b ersichtlich ist. Maßgebend für die Standicherheit und Dauer der Brücke ist die Pfeileranordnung. Mit Rücksicht auf die aufzunehmenden wagerechten Kräfte wurde jeder Pfeiler räumlich aus einer Gruppe von 3 Pfählen, die 3,5:1 gegen die Wagerechte geneigt sind und deren Mittellinien sich in einem Punkte schneiden und gleiche Winkel miteinander einschließen, gebildet. Der Schnittpunkt liegt nahe über der Oberfläche der Springflut und fällt mit dem Auflagerpunkt des portalartigen Pendeljoches zusammen, das die beiden Pfahlbündel quer zur Brückenlängsachse verbindend, die eigentliche Brücke

trägt. Als Pfahlelemente dienten geschweißte Stahlrohre von 475 mm äußerem Durchmesser bei 12 mm Wandstärke, die bei 9,1 m überschreitender Länge durch eine Schraubenverbindung gestoßen wurden. Die als Schutz erforderliche Betonumkleidung erreichte man durch ein zweites, das erste zentrisch umgebende Stahlrohr von 475 mm Durchmesser bei 6 mm Wandstärke, das jeweilig 2 m in den Boden hinabgeführt wurde. Es mußte, versehen mit einem

kegelförmigen, gußeisernen zweiteiligen Pfahlschuh, bestehend aus der Kegelspitze und der Kegelspitze, beide durch einen dünnen Stahlstift verbunden, zuerst eingerammt werden; auf die weiteren Einzelheiten dieser eigenartigen, sich gut bewährenden Anordnungen kann hier nicht eingegangen werden. Auf den Pfahlgruppen sitzen die schon erwähnten portalartigen, mit Beton umhüllten Pendeljoche mit 2 Gelenken aus Walzeisen. Die Hauptträger sind mit Rücksicht auf die Rostgefahr und die Anstricherneuerung nicht fachwerkartig, sondern als vollwandige Gerberträger, deren Gelenke als in der wagerechten Richtung federnde Flachgelenke *F*, ausgebildet worden (Textfig. 235 *a*). Die Stützweiten wechseln meist zwischen 24 und 28 m. Die äußerste Spitze der Brückenanlage ist mit einem 4 m hohen Turm für ein Leuchtfeuer vierter Ordnung ausgerüstet. Auf den Obergurten der beiden vordersten Öffnungen laufen zwei Portaldampfdrehkrane von je 5 t Tragkraft (Textfig. 235 *a* u. *c*) mit 6 m Ausladung bei 9 m Hubhöhe, die täglich 250 t bei 130 kg Kohlenverbrauch fördern können. Am Leuchtturm befindet sich noch ein Schwenkkran mit Handbetrieb für 1 t Nutzlast. Außerdem sind noch vier Leichterboote mit Zubehör vorhanden (Textfig. 235 *a* u. *c*), die mit Hilfe der Dampfkrane abgelassen werden. Die Verkehrsverbindung mit den Booten stellt die an der Ostseite befindliche Treppe (Textfig. 235 *a*) her. Entwurf und Ausführung: Maschinenbau-Gesellschaft Nürnberg. Nähere Angaben über die ganz neuartige und bewährte Pfeilergründung, sowie sonstige Einzelheiten siehe Litt. 31 nach § 105.

Litteratur

(zugleich nach der Zeitfolge geordneter Quellennachweis).²⁴⁾

Fähr- und Landebrücken betreffend.

1. Henket, Schols en Telders. Waterbouwkunde 1888. Bewegbare Bruggen (Fähren und Fähranstalten), 3. Teil, XIV. Abt. mit Taf. 46 bis 48.
2. Trajektanstalten zwischen Stralsund und Insel Rügen (Landebrücken). Zeitschr. f. Bauw. 1885, S. 357 mit Taf.
- *3. The Greenwich ferry (mit 2 Landungsstegen). Engng. 1888, I. S. 172 mit Abb.
- *4. Embarcadères flottants du port d'Anvers. Nouv. ann. de la constr. 1889, S. 177 mit Taf. — Deutsche Bauz. 1894, S. 148 mit Abb. — Fortschrittsheft S. 89, Fig. 86.
- *5. A novel landing stage for piers. Engineer 1889, II. S. 446 mit Abb.
- *6. Debarcadère flottant de seacombe sur la Mersey. Génie civil 1890/91, Bd. 18, S. 383 mit Abb. u. Taf.
- *7. Entwurf einer Eisenbahnfähre über den Kanal zwischen England und Frankreich. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S. 105 mit Abb.
- *8. Floating bridge at Portsmouth. Engng. 1892, II. S. 463 mit Abb. — Engineer 1892, II. S. 268 mit Abb. 9. — Fortschrittsheft S. 85, Fig. 82.
- *9. Delamoy. L'appontement de Kotonou. Génie civil 1892, Bd. 21, S. 1 mit Abb. u. Taf. — Lebris. Les constr. métalliques 1894, S. 290 mit Abb.
- *10. Transfer bridge for Norfolk and Caroline railroad (Eisenbahnlandebrücke). Engng. news 1892, I. S. 96 mit Taf.
- *11. Transfer bridge and slip for the Toledo Ann Arbor and North Michigan railway (Fähre). Engng. news 1893, I. S. 556 mit Abb. u. Taf. — Génie civil 1893, Bd. 23, S. 183 mit Abb. u. Taf. — Railroad Gaz. 1892, S. 613 mit Abb. — Fortschrittsheft S. 88, Fig. 85.
12. G. de Saint-Arrail. Ferry bridge connecting Portugaleta and Las Arenas. Engineer 1893, II. S. 224 mit Abb. — Génie civil 1893, Bd. 23, S. 229 mit Abb. — Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1894, S. 390 mit Abb. — Zentralbl. d. Bauverw. 1894, S. 76 mit Abb. — Lebris. Les constr. métalliques 1894, S. 257 mit Abb. — Mém. de la soc. des ing. civ. 1894, I. S. 532 mit Abb. — M. Foerster, Zeitschr. f. Arch. u. Ing.-Wesen 1897, S. 551 mit Abb.

²⁴⁾ Siehe Anm. 3, S. 18.

13. Schultz und Fülcher. Der Bau des Kaiser Wilhelm-Kanals 1898, Prahmbrücke: I. Abt., S. 22; Fähren: II. Abt. S. 121 mit Taf. 52.
- *14. Scheck. Einiges über Landebrücken. Deutsche Bauz. 1894, S. 148 mit Abb. — Fortschrittsheft Fig. 86 u. 87, S. 89 u. 90.
- *15. Une tramway funiculaire aérien. Génie civil 1893/94, Bd. 14, S. 375 mit Abb. — Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1894, S. 74.
- *16. Loewe. Festschrift zur Eröffnung des Kaiser Wilhelm-Kanals 1895 (Drahtseilfähren), S. 30. — Schultz u. Fülcher. Der Bau des Kaiser Wilhelm-Kanals 1898, II. S. 121 mit Abb. u. Taf. 52.
- *17. Car transfer bridge at West Norfolk Atlantic and Danville railway (Landebücke). Engng. news 1895, II. S. 178 mit Abb.
- *18. C. O. Gleim. Zur Kritik der Schwebbahnen. Deutsche Bauz. 1895, S. 266 mit Abb.
- *19. Cableway for passenger traffic at Brighton (England). Engng. news 1895, I. S. 67 mit Abb. — M. Foerster. Zeitschr. f. Arch. u. Ing.-Wesen 1897, S. 551 mit Abb.
- *20. Schrimpf. Wattfähre 1896 mit 5 Tafeln.
21. Müller u. Rudolph. Die Schwebefährianstalt bei Schiewenhorst (Landebücke). Zeitschr. f. Bauw. 1897, S. 397, mit Taf. 50, Fig. 7—12.
22. Schromm. Die in Dänemark in Verwendung stehenden Überfahrtsboote (Landebücke). Österr. Monatschr. f. d. öffentl. Baudienst 1898, S. 63 mit Taf.
23. Bernhard. Weltausstellung in Paris (Schwebefähren). Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1901, S. 700 mit Abb.
24. Foerster. Fährbrücke zu Martrou nächst Rochefort. Bauing.-Zeitg. 1900/01, S. 252 mit Abb.
25. Bleichert. Landungssteg mit Drahtseilverladebahn. Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenb. 1902, S. 454 mit Abb.
26. Landungssteg mit Warthalle in Bar Harbor. Engng. record 1902, Bd. 46, S. 424 mit Abb.
27. Lebert. L'Étude de la déformation élastique dans les pièces comprimées horizontales. Anwendung auf die Brückenfähre zu Nantes. Ann. des ponts et chaussées 1902, I. S. 89.
28. A movable railway incline bridge (Landungsbrücke) at New-Orleans. Engng. record 1903, Bd. 48, S. 489 mit Abb.
29. Schwebefähren über die Loire bei Nantes und in Newport (England), Rundschau: Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1904, S. 502 mit Abb.
30. A one thousand foot English transporter bridge über den Mersey-Fluß. Engng. record 1904, Bd. 49, S. 154 ohne Abb.
31. Preifs. Landebücke in Lome (Togo). Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1904, S. 1803 mit Taf. u. Abb.
32. Schwebefähre bei Duluth. Deutsche Bauz. 1905, S. 573 mit Abb. nach Transact. of the amer. Soc. of civil ing. (Proceedings) 1905, Bd. 31, S. 534 mit Abb. u. Taf. — Génie civil 1902, Bd. 41, S. 23 mit Abb. — Engineer 1902, I. S. 442 mit Abb.
33. Lengeling. Landungsbrücke bei Swakopmund. Zentralbl. d. Bauverw. 1905, S. 545 mit Abb. — Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1906, S. 33 mit Abb. — Deutsche Bauz. 1905, S. 192 ohne Abb.
34. Schwebefähre bei Runcorn (England). Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1905, S. 714 ohne Abb.
35. Lueger. Lexikon der gesamten Technik: Landungsbrücken und Vorrichtungen. Bd. VI, S. 68—70; Fähren und Trajektanstalten: Bd. IV, S. 51 und Bd. VII, S. 702.

J. Zerlegbare Brücken und Brücken für Kriegszwecke.

§ 106. Zweck und Einteilung. Während alle bisher besprochenen Brückengattungen möglichst ununterbrochen und ohne Standortwechsel dem Verkehr zu dienen haben, wobei letzterer nur auf kurze Zeiträume beschränkte Störungen erleidet, sollen die zerlegbaren Brücken und die Kriegsbrücken beliebig ihre Baustelle wechseln können, leicht aufzustellen und abzuschlagen und, eingebaut, für stetige Benutzung geeignet sein. Letzterer Fall kann in Kriegszeiten bei den eigentlichen Kriegsbrücken, oder zu friedlichen Zwecken bei Erschließung und Erforschung neuer Länder, die keine oder mangelhafte Verkehrswege besitzen, eintreten.

Über die Kriegsbrücken findet sich in der Litteratur aus naheliegenden Gründen sehr wenig; aber auch die Veröffentlichungen über zerlegbare Brücken sind sehr spärlich.

§ 107. Konstruktionsgrundgedanke. Folgende Punkte erscheinen als erstrebenswert: 1. Bildung steifer geschlossener Stabelemente bei Vermeidung abstehender, schwacher und daher leicht abbiegbarer Anschlussteile; 2. Kleinstmögliche Anzahl verschiedener Brückenelemente; 3. Zentrische Stabanschlüsse, sowohl der Haupt- als auch der Verspannungsträger; 4. Rücksichtnahme auf einfachen und zwanglosen Zusammenbau; 5. bei Verwendung von Gelenkverbindungen Vermeidung zu hohen Leibungsdruckes und 6. Verwendung besten Baustoffes, um, mit Rücksicht auf Gewicht und Versand, mit der Beanspruchung hoch gehen zu können.

§ 108. Ausgeführte Kriegs- und zerlegbare Brücken. Die erste zerlegbare Brücke baute Eiffel 1873 für Bolivien; die Ausbildung dieses Brückensystems erfuhr durch die Besizergreifung von Tonkin durch Frankreich eine wesentliche Förderung, wobei von da ab ausschließlich Stahl bezw. Flusseisen als Baustoff diente.

1. Der Leitgedanke des Eiffel'schen Systems liegt in der Bildung eines zwei- oder vierteiligen Parallelfachwerks (für die 15 m Brücken einwandige, für die 30 und 45 m Brücken zweiwandige Hauptträger), zusammengesetzt aus lauter völlig gleich gearbeiteten Dreieckselementen (winkelförmigen Stäben) und durch konische Bolzen eigenartiger Anordnung verbunden. Die Längs- und Querträger sind vollwandig, bei den kleineren Stützweiten I-Träger, bei den größeren Blechträger. Die einzelnen Brückenelemente lassen sich beliebig vertauschen. Es können hiermit Straßensbrücken bis 24 m und Eisenbahnbrücken für 1 m und für die gewöhnliche Spur bis 45 m Stützweite aufgestellt werden. Die Gewichte für die 15 bis 25 m Brücken schwanken von 13,78 bis 78,61 t; die Trägerhöhen der 15 bis 30 m Brücken betragen 3,08 m, jene der 45 m Brücken 5,90 m. Eine Notbrücke für die Orleansbahn bedurfte 20 Stunden zum Aufstellen (Fortschrittsheft S. 95 und Litt. 6 u. 10 nach § 108).

2. Die Kriegsbrücken nach dem System Henry sind ebenfalls Fachwerksbrücken mit Bolzengelenken; sie fanden bei dem französischen Militär mehrfach ausgedehnte Verwendung; so wurden 18 Öffnungen von je 20 m Spannweite innerhalb 52 Stunden, auf Holzböcken ruhend, zu einer Brücke über den Var-Fluß zusammengebaut (Litt. 11 nach § 108).

3. Abweichend von den vorgenannten beiden Systemen ist die Kriegsbrücke nach dem System Marcille durch Aneinanderreihung und Verbindung von Elementen aus vollwandigen Blechträgern zusammengesetzt. Die 10 und 20 m Brücken besitzen $1/16,7$ und die 30 und 45 m Brücken $1/20$ und $1/20,5$ der Stützweite als Trägerhöhe. Die Aufstellung erfolgt durch Verschieben unter Anwendung eines besonderen Schnabels (*avant boc*) nebst entsprechenden Gegengewichtes. Eine aus 20 und 27 m langen Einzelöffnungen zusammengesetzte, 70 m lange Brücke bei Argenteuil erforderte 60 Stunden Aufstellungszeit (Litt. 10 u. 12 nach § 108).

Litteratur

(zugleich nach der Zeitfolge geordneter Quellennachweis),²⁵⁾

Zerlegbare Brücken und Kriegsbrücken betreffend.

1. Haupt. Military bridges. New York 1865.
2. Organisation of the bridge equipage of the United States army 1870.
3. Müller. Die europäischen Kriegsbrückensysteme 1874.
4. Croizette Desnoyers. Cours de construction des ponts 1885. Ponts peu couteux et faciles a déplacer. Bd. II, S. 391 mit Abb.
- *5. Birk. Transportable Brücken. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1887, S. 201 mit Abb.

²⁵⁾ Siehe Anm. 3, S. 18.

- *6. Ch. Talansier. Ponts portatifs et démontables. Génie civil 1888, Bd. 13, S. 192 mit Abb.
- *7. Brochocki's portable bridges. Engineering 1889, I. S. 323 mit Abb., auch Lebris. Les constructions métalliques 1894, S. 287 mit Abb.
- *8. System Seyrig. Portable Bridges. Engng, 1889, II. S. 139 mit Abb., auch Birk. Wochenschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1890, S. 38 mit Taf. II.
- *9. Eiffel's zerlegbare stählerne Brücken. Zentralbl. d. Bauverw. 1889, S. 470 mit Abb. — Lavergne. Génie civil 1890, Bd. 17, S. 321 mit Abb. — Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnwesens 1891, S. 78 ohne Abb.
- *10. Neuere Arten zerlegbarer eiserner Brücken (Systeme: Henry und Marcille). Zentralbl. d. Bauverw. 1890, S. 297 mit Abb. — Lébris. Les constructions métalliques 1894, S. 284 u. 289 mit Abb.
- *11. Henry. Ponts et viaducs mobilisables 1891 mit Abb. u. Taf.
- *12. C. Koch. Eine tragbare und zerlegbare Brücke von veränderlicher Spannweite. Deutsche Bauz. 1892, S. 145 mit Abb.
- *13. Grieger. Zusammenlegbare und transportable Brücken. Zeitschr. f. Transportw. u. Strafsenbau 1894, S. 34 ohne Abb.
- *14. H. v. Ripper. Europäische Kriegsbrückensysteme 1895 mit Taf. (behandelt die Pontonbrücken).
- *15. Katalog der Firma A. Koppel, Berlin. Industriebahnen.
16. Lueger. Lexikon der gesamten Technik: Kriegsbrücken, Bd. V, S. 711.

§ 109. Vergleich der verschiedenen Systeme beweglicher Brücken. Unter allen beweglichen Brücken behaupten die Drehbrücken, wegen der Häufigkeit ihrer aufsergewöhnlichen Abmessungen (Omaha-Brücke 158,5 m lang, 32,05 m hoch), den gesteigerten Verkehrsanforderungen (viergleisige Eisenbahnen) und der großen Betriebssicherheit den obersten Rang.

Die amerikanischen Drehbrücken sind die größten, schwersten und zahlreichsten, gleichwohl aber in der Mehrzahl nach einem Typus ausgeführt. Die großen Fachwerkbrücken sind fast alle gleicharmig und besitzen Gelenkbolzenknotenausbildung, schlaffe Zugglieder, Keil- oder Kniehebelstützung an den Enden und Rollkranzauflagerung (*run bearing turn table*) über dem Pfeiler. Das Pfeilerfach ist vielfach der Wirkung nach als Querkraft-Nullfeld ausgebildet, indem die starken Pfeilerpfosten blofs durch schwache, aus Rundeisen und Querstäben bestehende Verspannungen, die Querkräfte von Belang nicht aufzunehmen vermögen, verbunden sind. Die Höhe über dem Pfeiler ist aufsergewöhnlich groß gewählt (Omaha-Brücke $l:h = 4,95:1$). Der Bewegungsmechanismus wird sehr mannigfach durch Dampf, Wasser, Elektrizität, Druckluft für die Nebenanlagen, und vereinzelt durch Gas angetrieben.

Die englischen Drehbrücken zeigen, obwohl nicht zahlreich, mehr Mannigfaltigkeit der Ausgestaltung: Rollkranzauflagerung ebenso wie Königsstuhl mit Prefswasser-Hebekolben. Durchaus steif genietet Knotenpunktverbindungen, mit Ausnahme der Clarence-Brücke (Litt. 96 nach § 94). Die meisten sind ungleicharmig. Antrieb: Hand oder Wasserdruck, erst in jüngster Zeit auch Elektrizität.

Die Ausbildung der deutschen Drehbrücken hat durch den Bau des Nord-Ostsee-Kanals eine besondere Förderung erhalten; jedoch auch bei allen vorher und nachher in Deutschland gebauten Drehbrücken zeigt sich das Bestreben, die jeweilig gestellten Aufgaben möglichst selbständig und neuartig zu lösen, so daß sowohl bezüglich der Tragsysteme, als auch des Bewegungsmechanismus größte Mannigfaltigkeit herrscht, wobei in erster Linie Einfachheit und Sicherheit des Betriebes angestrebt wird. Deshalb findet man auch häufig, der großen Betriebssicherheit halber, bei schweren Brücken Prefswasserbetrieb. Ganz besondere Sorgfalt wird auf die Ermittlung des Kräftespieles unter Berücksichtigung denkbar ungünstigster Wirkungen aus Verkehrslast, Wind und Wärmeschwankungen (auch ungleichen Wärmezustandes) mit Berücksichtigung der Querschnittsveränderlichkeit verwendet.

Bei größeren französischen Drehbrücken neuerer Zeit wird grundsätzlich, wie bei den deutschen, die Rollkranzauflagerung vermieden. Der Antrieb und die Bedienung erfolgt mittels Wasserdruck in sorgfältiger, aber etwas umständlicher Weise mittels einer Reihe von Nebenanlagen. Die meisten der nicht sehr zahlreichen französischen Brücken lassen den Einfluß der Barret'schen Konstruktionsweise erkennen.

Fast in allen Ländern werden in den Flußlauf gesetzte Drehbrücken im ausgedrehten Zustand durch Leitwerke größeren oder kleineren Umfangs (meist aus Holz) gegen anfahrende Schiffe gesichert.

Mit Ausnahme der Tower-Brücke (Textfig. 66, S. 67) wurden die Klappbrücken mit fester Drehachse hauptsächlich in Deutschland, Holland und Dänemark ausgebildet und angewendet. Die Klappbrücken mit beweglicher Drehachse, sowie die Faltbrücken fanden, erstere hauptsächlich, letztere ausschließlic, ihre Ausbildung und Verbreitung in den Vereinigten Staaten Nordamerikas; erstere erfuhren in jüngster Zeit in Deutschland, in vollständig eigenartiger Weise durchgebildet, auch für sehr schwere Klappen Anwendung, z. B. bei der Hansabrücke (Litt. 51 nach § 34), bei einer Überbrückung des Bootshafens in Kiel, und in Duisburg. Die Erfindung und Ausbildung des Faltbrückensystems ist in den eigenartigen örtlichen Verhältnissen Chicago's zu suchen, die eine große Anzahl beweglicher Brücken erforderten.

Die Hub- und Zugbrücken, ursprünglich hauptsächlich in Holland und Ländern mit ähnlich gelagerter Bodenbeschaffenheit entstanden und zahlreich, jedoch nur für mäfsige Lichtweiten und Hubhöhen angewendet, fanden in neuester Zeit in den Vereinigten Staaten Nordamerikas ihre Anwendung und Ausgestaltung auch für schwere Brücken bei aufsergewöhnlicher Hubhöhe (bis über 42 m).

Roll- und Kranbrücken weisen nur ein sehr beschränktes Anwendungsgebiet auf. Ersteres Brückensystem erreichte in neuester Zeit in England bei der Viktoria-Brücke (Textfig. 8, S. 9) seine größte nutzbare Durchfahrtsweite (36,6 m). Von den amerikanischen Entwürfen großer Rollbrücken bis zu 76,2 m Lichtweite (Duluthers Schiffskanal, Litt. 19 nach § 12) gelangte bisher keiner zur Ausführung. Das Kranbrückensystem fand stets blofs für kleine Verhältnisse für untergeordnete Zwecke Anwendung und wird bei der Vervollkommnung der anderen Systeme beweglicher Brücken noch mehr in den Hintergrund treten. Dagegen haben die Fährbrücken in jüngster Zeit eine Ausgestaltung erfahren, die ihre Wettbewerbsfähigkeit bezw. Überlegenheit über alle Arten beweglicher Brücken dartut, wenn es sich um die Freihaltung sehr großer Verkehrsprofile für die Schifffahrt (bis 168 m Weite) oder die Überbrückung großer Täler handelt (vergl. Litt. 29 nach § 105).

Das Anwendungsgebiet der Schiffbrücken und einfachen Fähren wird, wegen der damit verbundenen Verkehrserschwerungen, stets ein beschränktes bleiben und sich deren weitere Ausgestaltung mehr auf die konstruktive Ausbildung der Einzelteile als auf Abweichungen vom Grundgedanken erstrecken. — Bei aufsergewöhnlicher Wassertiefe und beschränktem Kostenaufwand kann jedoch eine Schiffbrücke als zweckmäfsigste Brückengattung sich ergeben (vergl. S. 254, Brücke über das Goldene Horn).

Die Hub-, Zug- und Kranbrücken bieten den gemeinsamen Vorteil, dafs die Tragkonstruktion blofs für die zu überbrückende Brücke selbst hergestellt zu werden braucht und erstere beiden, dafs die Uferbenutzung nicht eingeschränkt wird. Andererseits können die Hubbrücken von bemasteten Schiffen nur nach Niederlegung der Masten befahren werden, oder es mufs zu hohen Turmbauten mit erheblicher Windbeanspruchung geschritten werden. Die Türme können dann auch durch ihre äufsere Erscheinung in

einem Städtebild sehr störend wirken. Als Vorzug der Hubbrücken kann: Kleiner Bedarf an zu überbauender Grundfläche, ungehinderter Verkehr an den unmittelbar anschließenden Uferstrecken, Zulässigkeit schwerer Fahrbahntafel (womit allerdings die tote Last des Gegengewichtes wächst) und Einfachheit der Maschinenanlage genannt werden.

Die Zugbrücken erfordern, wenn sie nicht an Torwege anschließen, hohe der Windwirkung ausgesetzte Gerüste und weite Spielräume für die Bewegungsvorrichtungen. Bei den großen Ausführungen der Doppelzugbrücken (Textfig. 45 u. 46) bietet der sichere Schluß in Brückenmitte noch große Schwierigkeit, so daß sie sich nur für Strafenbrücken eignen.

Die Kranbrücken sind für Strafenbrücken gar nicht und für Eisenbahnbrücken wegen ungenügender Seitensteifigkeit bloß bei ganz kleinen Stützweiten zweckdienlich.

Für das Durchlassen von Kähnen oder kleineren Schiffen genügt oft nur ein teilweises Öffnen der beweglichen Brücken. In dieser Beziehung sind die Zug-, Hub- und Klappbrücken gegenüber den Roll- und Drehbrücken im Vorteil. Durch Anordnung polygonaler (bogenförmiger) Untergurte bei zweiteiligen Drehbrücken, so z. B. bei der Herrendrehbrücke in Lübeck (Textfig. 209, S. 215) läßt sich der letztgenannte Vorteil jedoch ebenfalls erreichen. Die Verbindung des Dreh- und Zugbrückensystems bei der Liverpoolscher Hochbahn (Textfig. 120, S. 115) dient dem gleichen Zweck. Vergl. überdies noch Textfig. 121, S. 115.

Die Klappbrücken zeichnen sich den Zug- und Hubbrücken gegenüber durch das Entfallen oberhalb der Fahrbahn vorstehender, den Verkehr und die Übersichtlichkeit störender Teile aus. Im Vergleich mit den Roll- und Drehbrücken gestatten sie eine viel bessere Ausnutzung des Ufergeländes. Auch bilden die aufrecht stehenden Klappen selbst sichere Schranken für den Verkehr bei geöffneter Brücke. Nachteilig wirken die großen und ungünstig gelegenen Angriffsflächen, welche die geöffneten Klappen dem Winde bieten, wodurch bei großen Spannweiten und erheblicher Brückenbreite die erforderliche Bewegungskraft, deren Größe mit dem Durchnässungszustand der Fahrbahn wechselt, erheblich zunimmt. Auch die erforderlichen Gegengewichte werden sehr bedeutend, so daß deren Unterbringung Schwierigkeiten bereiten kann. Die neueren amerikanischen Falzbrücken suchen diese Nachteile abzumindern und wird tatsächlich, indem die Brücke beim Öffnen knickt, die Winddruckfläche in weitgehendem Maße vermindert.

Die Rollbrücken (namentlich die Überrollbrücken) haben bei starkem Verkehr den Nachteil, daß vor dem Öffnen derselben ein Freimachen der in ihrer Verlängerung befindlichen Bahn von Fuhrwerken und Fußgängern auf eine größere Länge vorausgesetzt werden muß. Auch erfordern Rollbrücken bei derselben Spannweite eine größere Bewegungskraft als z. B. Drehbrücken. Die für 76 m lichte Durchfahrtsweite berechneten amerikanischen Rollbrückenentwürfe (Litt. 19 nach § 12) erfordern überdies landeinwärts große Streifen Landes.

Es können jedoch auch Fälle vorkommen, wo aus örtlichen Gründen eine Drehbrücke nicht angeordnet werden kann, z. B. wenn für einen Drehpfeiler im Wasser der erforderliche Platz nicht vorhanden ist und das anschließende Ufer keinen genügenden freien Raum für die Bewegung eines Drehbrücken-Hinterarmes bietet. Ist die zu überbrückende Weite für eine Klappbrücke zu groß und will man, wegen der erforderlichen Türme, nicht zu einer Hubbrücke greifen, so wird man eine Rollbrücke ver-

wenden. Bei ähnlichen örtlichen Verhältnissen wurden in neuester Zeit einarmige Drehbrücken angewendet (vergl. die Weaverflufs-Wrücke bei Wunnington (Taf. I, Fig. 7 bis 9).

Am häufigsten kommen die beweglichen Brücken in Form von Drehbrücken vor. Sie haben den großen Vorzug gegenüber den Zug-, den Klapp- und den Hubbrücken, daß hier die Last sich in der Hauptsache nur in einer wagerechten Ebene zu bewegen hat. Auch wirkt der Wind weniger ungünstig als bei Klappbrücken und kann selbst bei ungleicharmigen Drehbrücken durch Anordnung geeigneter Windschürzen dessen Wirkung eingeschränkt werden. Wird kurze Bewegungszeit verlangt, so sind die ungleicharmigen den gleicharmigen vorzuziehen. Für Eisenbahnverkehr stehen die Drehbrücken ihrer großen Betriebssicherheit halber unter allen beweglichen Brücken in erster Linie; dies dürfte auch bezüglich der Dauerhaftigkeit der Fall sein, da alle schädlichen, Abnutzung herbeiführenden Stosswirkungen sich bei diesem System am sichersten vermeiden oder in erprobter Weise unschädlich machen lassen. Die Drehbrücken zeichnen sich (auch den Rollbrücken gegenüber) durch verhältnismäßig leichte Beweglichkeit aus, da bei denselben das Verhältnis der Hebelarme von Bewegungskraft und Reibungswiderstand ein günstiges ist. Andererseits erfordern, wie bereits bemerkt, die nicht mit einem mittleren Drehpfeiler versehenen Drehbrücken viel Platz für ihren Hinterarm, wodurch längs eines ganzen Teiles des Ufers beziehentlich der Schleusenmauer keine Haltepfähle für Schiffe, keine Winden, sowie überhaupt keine Bewegungsvorrichtungen für das Durchfahren der Schiffe angebracht werden können.

Die Anordnung einer Fährbrücke kann bei Übersetzung sehr breiter Gewässer sich als das beste System herausstellen; als dessen unbestreitbare Vorzüge: Geringster Bedarf an Baugrund, Wegfall jeder Rampeanlage und fast gar keine Störung des Schiffsverkehrs bezeichnet werden müssen.

Der Hauptvorteil der Schiffbrücken besteht in der Möglichkeit, dieselben rasch aufzustellen und abzufahren, was besonders in Kriegsfällen von Wichtigkeit ist. Auch können die Einzelbestandteile dieser Brücken von dem Heere leicht auf Wagen befördert werden. Dagegen bieten sie die Nachteile, daß sie eine ständige Überwachung und viel Nachbesserungsarbeiten notwendig machen, sowie daß zur Zeit der Eisgänge der Verkehr ganz unterbrochen werden muß (vergl. S. 263).

Die eigentlichen Kriegsbrücken dienen ganz besonderen Zwecken, weshalb sie sich mit den übrigen Systemen der beweglichen Brücken nicht in Vergleich stellen lassen.

Litteratur

(zugleich nach der Zeitfolge geordneter Quellennachweis).²⁶⁾

Bewegliche Brücken im allgemeinen betreffend.

1. Bendel. Der Überbau der amerikanischen Brücken und Viadukte, nach Notizen von Henz. Zeitschr. f. Bauw. 1862, S. 383.
2. Becker. Der Brückenbau 1873, II. Bewegliche Brücken, S. 289—318 mit Taf.
3. Morandière. Traité de la constr. des ponts et viaducs 1874. Ponts mobiles. Bd. 5, S. 1144, 1165 u. Bd. 6, S. 1585—1656 mit Abb. u. Taf.
4. Poncelet. Cours de mécanique appliquée aux machines publié par M. Kleitz. Bd. II, Sektion 3. Des ponts levis. 1876.
5. Rziha. Eisenbahn-Unter- und Oberbau. Wiener Weltausstellungsbericht 1877, Bd. II, Abschn. V, S. 455.
6. Fr. Steiner. Über Brückenbau in den Vereinigten Staaten von Nordamerika. Bewegliche Brücken 1878, S. 171 mit Abb.
7. J. Price. Movable bridge. Min. of proc. of the instit. of civ. eng. LVII, 1879, S. 1.

²⁶⁾ Siehe Anm. 3, S. 18.

8. Konkurrenz für den beweglichen Überbau der Schifffahrtsöffnung der Frankfurter Oderbrücke. Wochenbl. f. Arch. u. Ing. 1883, S. 337, 344, 355 mit Abb.
9. Sympher. Bewegliche Brücken in Holland. Zeitschr. f. Bauw. 1883, S. 542 mit Abb.
10. J. Hofmann. Über bewegliche Brücken, namentlich Drehbrücken. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1884, S. 493 mit Abb.
11. Heinzerling. Die Brücken der Gegenwart. Abt. IV: Bewegliche Brücken. Leipzig 1883.
12. Henket, Schols en Telders. Waterbouwkunde 1888, 3. Teil, XIV. Abt. Beweegbare Bruggen mit 48 Taf.
- *13. Johnson, Bryan and Turneaure. The treatise and practice of modern framed structures 1893. Swing bridges S. 179 u. 357 mit Abb. u. Taf.
- *14. W. H. Warren. Engineering constr. in iron and steel 1894, S. 323 mit Taf.
15. M. Foerster. Neue bewegliche Brücken des Auslandes. Zeitschr. f. Arch. u. Ing.-Wesen 1897, S. 515 mit Abb.
16. Lorey. Neuere Konstruktionen beweglicher Brücken. Südd. Bauz. 1898, S. 252 mit Abb.
17. Ch. H. Wright. The designing of draw-spans. 1898 mit Abb. u. Taf.
18. Neuere Systeme beweglicher Brücken in den Vereinigten Staaten. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1900, S. 765 mit Abb.
19. Burr. A course on the stresses in bridge and roof trusses etc. 1902, S. 125 mit Abb. u. Taf.
20. Ch. E. Green. Trusses and arches 1903. Pivot or draw spans, Bd. II, S. 158 mit Abb. u. Taf.
21. Waddell. De pontibus. A pocket book for bridge engineers 1903, S. 103—129 u. S. 183—212 mit Taf.
22. Merriman and Jacoby. A text-book on roofs and bridges 1903. Drawbridges Bd. IV, S. 36.
23. Lueger. Lexikon der gesamten Technik. Bewegliche Brücken Bd. II, S. 326.

§ 110. **Schlussbemerkung.** Bei der großen Anzahl von Fragen, die für feste und bewegliche Brücken gleiche Beantwortung finden, mögen noch einige Werke und Schriften allgemeinen Inhaltes, der jedoch auch für bewegliche Brücken nutzbringende Fingerzeige bietet, aufgeführt werden.

Litteratur

(zugleich nach der Zeitfolge geordneter Quellennachweis).²⁷⁾

Werke und Schriften allgemeinen Inhaltes betreffend.

- *1. Th. Cooper. General specification for Iron and steel railroad bridges and viaducts 1890; derselbe: General spec. for iron and steel highway bridge viaducts 1890.
- *2. Johnson, Bryan and Turneaure. The theorie and practice of modern framed structures 1893, S. 179 mit Abb. und S. 357 mit Abb. u. Tafeln.
- *3. W. H. Warren. Engineering construction in iron steel and timber 1894, S. 323 mit Taf.
- *4. W. Ritter. Der Brückenbau in den Vereinigten Staaten Nordamerikas 1894, S. 64.
5. Weyrauch. Über die Berechnung der Brückenaufleger. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1894, S. 131 u. 571 mit Abb.
6. Häselser. Handbuch des Brückenbaues I. Teil, 1.—4. Lieferung 1888—1903.
7. Handbuch der Ingenieurwissenschaften II. Bd., 2. Abt. 3. Aufl. 1901. Eigengewicht S. 4 mit Abb.; Winddruck S. 34 mit Abb.; Dynamische Wirkungen S. 39 mit Abb.; Baustoff S. 68; Reibungskräfte an den Auflagern S. 57; Verschiebungspläne S. 241 mit Abb.; Biegungslinie einer Seilkurve der Winkeländerungen S. 253 mit Abb.; Biegungslinien bestimmter Belastungsflächen S. 259 mit Abb.; Biegungslinie des über 3 Stützen durchlaufenden Trägers S. 261 mit Abb.; Rechnerische Ermittlung der Durchbiegungen für vollwandige und gegliederte Träger S. 262 mit Abb.; Einflusslinien und -Flächen S. 278 mit Abb.; Einflusslinien für statisch unbestimmte Systeme S. 281 mit Abb.; Zeichnerische Lösung der Clapeyron'schen (Bertot'sche) Gleichung S. 285 mit Abb.; Statisch unbestimmte Tragwerke S. 342 mit Abb.; Zeichnerische Behandlung des durchlaufenden Trägers S. 345 mit Abb.; Durchlaufende Träger-Einflusslinien S. 364 mit Abb.; Neueste Belastungsvorschriften für die eisernen Brücken des Vereins deutscher Eisenbahnverwaltungen und der preussischen Eisenbahnverwaltung S. 367 mit Abb.
- 7a. Desgleichen II. Teil, 1. Bd., 4. Aufl. 1904. Bewegliche Brücken S. 16, 28, 32 u. 108; Fähren und Trajekte S. 34; Angreifende Kräfte S. 68; Temperaturänderungen S. 71; Verkehrslast S. 71.

²⁷⁾ Siehe Anm. 3, S. 18.

8. T. Cl. Fidler. A practical treatise on bridge construction 1901 mit Abb. u. Taf.
9. Lueger. Lexikon der gesamten Technik (ohne Jahreszahl) 1. Aufl. — Weyrauch. Analytische Behandlung des kontinuierlichen Balkens Bd. I, S. 761 u. 776 mit Abb.; Berechnung der Auflager S. 539 mit Abb.; Belastung der Träger Bd. II, S. 203 mit Abb.; Clapeyron'sche Formel Bd. III, S. 64; Einflußlinien S. 552 mit Abb.; Elastische Linie S. 665 mit Abb.; Statisch unbestimmtes Fachwerk Bd. IV, S. 36 mit Abb.; W. Ritter. Graphische Berechnung des kontinuierlichen Balken, S. 783 mit Abb.; Einflußlinien Bd. III, S. 554 mit Abb.; Elastizitätseellipse S. 670 mit Abb.; Graphische Berechnung der kontinuierlichen Fachwerke, S. 27 mit Abb.; Graphische Berechnung statisch unbestimmter Fachwerke S. 43; Formänderungswinkel S. 367 mit Abb.; Melan. Bewegliche Brücken Bd. II, S. 326 mit Abb.; Eigengewicht von Brücken Bd. III, S. 547 mit Abb.
10. A. Ernst. Die Hebezeuge. 4. Aufl. 1903, Bd. 2 mit Atlas.
11. Mehrtens. Statik der Baukonstruktionen und Festigkeitslehre Bd. I, 1903, Bd. II, 1904 und Bd. III, 1905; S. 40, 44 Durchgehende Träger auf 3 Stützen; S. 351 Durchlaufender Träger auf unverschiebbaren Stützpunkten; S. 403 desgl. auf verschiebbaren Stützpunkten.
12. O. Mohr. Abhandlungen aus dem Gebiet der technischen Mechanik 1906. S. 261—293 der kontinuierliche Balken; S. 305, 390, 403 das kontinuierliche Balkenfachwerk. (Zusammenfassende Wiedergabe der grundlegenden Arbeiten von 1860, 1862 und 1868 aus Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover.)
13. Über Müller-Breslau's einschlägige Arbeiten vergl. Litteratur des Anhangs.

Anhang.

Kurze Ableitung der im Vorhergehenden benutzten Formeln aus der Theorie des durchlaufenden Balkens.

I. Homogener durchlaufender Balken mit beliebig vielen Feldern.

§ 1. Elastische Durchbiegung eines unter dem Winkel α gegen die Wagerechte eingespannten Balkens (Textfig. 236). Wenn nur ein Längenelement des Balkens am Querschnitte $\gamma\delta$ elastisch wäre, so würde infolge der Einwirkung des Biegemomentes M der äußeren Kräfte der Balkenteil CB sich um C drehen, wobei, wenn, wie gewöhnlich, der Verdrehungswinkel φ nur sehr klein ist:

$$\Delta y = B B_2 = B B_1 \cos \alpha = C B \cdot \varphi \cdot \cos \alpha = \varphi \cdot x$$

sein würde. Wenn der Querschnitt $\gamma\delta$ in die Lage $\gamma_1\delta_1$ übergeht, so verlängert sich an dieser Stelle das Element $\frac{dx}{\cos \alpha}$ der äußeren Faser um $e\varphi$, wobei e die Entfernung desselben von der Biegungsachse bezeichnet. Die hierdurch erzeugte Spannung ist $\sigma = \frac{e\varphi}{dx} E \cos \alpha$ oder, wenn α klein vorausgesetzt wird, $\sigma = \frac{e\varphi}{dx} E$, worin E = Elastizitätsziffer. Andererseits ist bekanntlich, wenn J = Trägheitsmoment des Balkenquerschnittes: $\sigma = \frac{M e}{J}$. Aus der Gleichsetzung beider Werte von σ folgt $\varphi = \frac{M dx}{E J}$ und demnach wird $\Delta y = \varphi x = \frac{M x dx}{E J}$.

Nun ist der Balken nicht nur in $\gamma\delta$, sondern in seiner ganzen Länge elastisch. Man erhält daher die wirkliche Senkung von B :

$$y = \int_0^l \frac{M x dx}{E J} \dots \dots \dots 1.$$

und folglich, wenn $AD = l$ genannt wird, den Abstand des gesenkten Balkenendes von der Wagerechten AD :

$$y + l \tan \alpha = \int_0^l \frac{M x dx}{E J} + l \tan \alpha \dots \dots 1^a.$$

Führt man x als einen Teilbetrag von l ein, d. h. setzt man $x = \xi l$, so geht die letzt gefundene Gleichung über in

$$y + l \tan \alpha = l^2 \int_0^1 \frac{M \xi d\xi}{E J} + l \tan \alpha \dots \dots \dots 1^b.$$

Fig. 236.

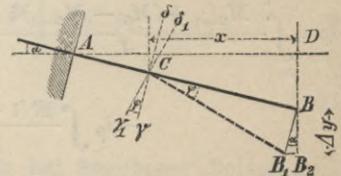
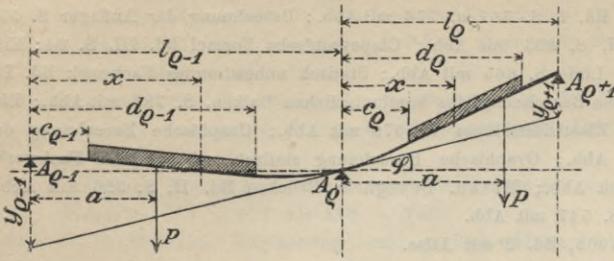


Fig. 237.



§ 2. Bezeichnungen. Für das Folgende werden die in Textfig. 237 und außerdem die nachstehend angegebenen Bezeichnungen eingeführt:

M Biegemoment für irgend einen Querschnitt des durchlaufenden Balkens, $M_{\rho-1}$, M_{ρ} u. s. w. Biegemomente für die Querschnitte über den Stützen, M' und M'' Biegemomente an der linken bzw. rechten Stütze des Feldes l , Q' und Q'' Querkräfte an der linken bzw. rechten Stütze des Feldes l ,

- $s_{\rho-1}$, s_{ρ} u. s. w. Ordinaten der Stützen bezogen auf eine unterhalb angenommene Waagrechte. Die Achse des nicht gebogenen Balkens ist geradlinig vorausgesetzt,
- $\Sigma_{\rho-1} P$, $\Sigma_{\rho} P$ Summe der Einzellasten P in dem Felde $l_{\rho-1}$, l_{ρ} ,
- $q_{\rho-1}$, q_{ρ} u. s. w. gleichförmige Belastung für die laufende Längeneinheit des $(\rho - 1)$ ten und des ρ ten Feldes,
- $\int_0^1 P \alpha$ und $l \int_0^1 P(1 - \alpha)$ Summe der statischen Momente der im Felde l befindlichen Einzellasten P für die linke beziehentlich rechte Stütze als Momentenpunkt. Hierbei ist $\alpha = al$ eingeführt.

§ 3. Gleichung der drei Stützenmomente. Das Trägheitsmoment werde veränderlich vorausgesetzt. Die Stützenhöhen-Unterschiede mögen nur klein sein. Man kann den Teil $A_{\rho-1} A_{\rho+1}$ des durchlaufenden Balkens als einen ursprünglich geraden und unter dem Tangentenwinkel α in A_{ρ} eingespannten ansehen, der durch die Wirkung der Biegemomente in die Gestalt $A_{\rho} A_{\rho-1}$ einerseits und $A_{\rho} A_{\rho+1}$ andererseits gebracht worden ist.

Für den lotrechten Abstand $y_{\rho-1}$ beziehentlich $y_{\rho+1}$ der Stützpunkte $A_{\rho-1}$ bzw. $A_{\rho+1}$ von der durch A_{ρ} gelegten Tangente an die Biegungsachse erhält man dann nach Gl. 1:

$$y_{\rho-1} = \int_0^{l_{\rho-1}} \frac{Mx dx}{EJ} = l_{\rho-1}^2 \int_0^1 \frac{M\xi d\xi}{EJ} \quad \text{und} \quad y_{\rho+1} = \int_0^{l_{\rho}} \frac{M(l_{\rho} - x)d(l_{\rho} - x)}{EJ} = l_{\rho}^2 \int_0^1 \frac{M(1 - \xi)d\xi}{EJ}.$$

Die Gleichheit der Tangentenwinkel rechts und links von A_{ρ} führt zu der Formel:

$$l_{\rho-1} \int_0^1 \frac{M\xi d\xi}{EJ} - \frac{s_{\rho-1} - s_{\rho}}{l_{\rho-1}} = \frac{s_{\rho+1} - s_{\rho}}{l_{\rho}} - l_{\rho} \int_0^1 \frac{M(1 - \xi)d\xi}{EJ} \dots \dots \dots 2.$$

Bezeichnet man mit \mathfrak{M} das Biegemoment in irgend einem Querschnitte des ρ ten Feldes, im Abstände $\hat{x} = \xi l_{\rho}$ von A_{ρ} , für den Fall, wenn der Balken nicht durchlaufend wäre, so ist

$$M = \mathfrak{M} + M_{\rho} + (\mathfrak{M}_{\rho+1} - M_{\rho})\xi \dots \dots \dots 3.$$

und ähnlich für jedes andere Feld. Setzt man diesen Ausdruck in Formel 2 ein, so erhält man als Gleichung für die drei Stützenmomente $M_{\rho-1}$, M_{ρ} und $M_{\rho+1}$:

$$l_{\rho-1} \int_0^1 \frac{M_{\rho-1} + (M_{\rho} - M_{\rho-1})\xi}{J} \xi d\xi + l_{\rho} \int_0^1 \frac{M_{\rho+1} + (M_{\rho+1} - M_{\rho})\xi}{J} (1 - \xi) d\xi = -l_{\rho-1} \int_0^1 \frac{\mathfrak{M}\xi d\xi}{J} - l_{\rho} \int_0^1 \frac{\mathfrak{M}(1 - \xi) d\xi}{J} + E \left[\frac{s_{\rho+1} - s_{\rho}}{l_{\rho-1}} + \frac{s_{\rho-1} - s_{\rho}}{l_{\rho}} \right] \dots \dots \dots 4.$$

Bei gleich hohen Stützen fällt das letzte Glied rechts weg. (Hat man es mit einem Balken zu tun, dessen Unterkante nicht geradlinig ist, so fällt dieses letzte Glied weg, wenn die Stützen der Form der Unterkante des nicht gebogenen Balkens entsprechen.)

Ist das Trägheitsmoment J unveränderlich, so können die Integrale auf der linken Seite ausgeführt werden. Man erhält, wenn man noch $l_{\rho-1} = \mu_{\rho-1} l$ und $l_{\rho} = \mu_{\rho} l$ setzt:

$$M_{\rho-1} \cdot \mu_{\rho-1} + 2M_{\rho} (\mu_{\rho-1} + \mu_{\rho}) + M_{\rho+1} \cdot \mu_{\rho} = -6\mu_{\rho-1} \int_0^1 \mathfrak{M} \xi d\xi - 6\mu_{\rho} \int_0^1 \mathfrak{M} (1 - \xi) d\xi + \frac{6EJ}{l^2} \left(\frac{s_{\rho-1} - s_{\rho}}{\mu_{\rho-1}} + \frac{s_{\rho+1} - s_{\rho}}{\mu_{\rho}} \right) \dots \dots \dots 5.$$

Befindet sich z. B. innerhalb einer Öffnung von der Spannweite l eine Einzellast P im Abstände $a = \alpha l$ von der linken Stütze, so ist:

$$l^2 \int_0^1 \mathfrak{M} \xi d\xi = \frac{Pl^3}{6} \alpha(1 - \alpha)(1 + \alpha) = \frac{1}{6} Pl^3 (\alpha - \alpha^3) = \frac{1}{6} Pl^3 \cdot \gamma'$$

und $l^2 \int_0^1 \mathfrak{M} (1 - \xi) d\xi = \frac{Pl^3}{6} \alpha(1 - \alpha)(2 - \alpha) = \frac{1}{6} Pl^3 (2\alpha - 3\alpha + \alpha^3) = \frac{1}{6} Pl^3 \cdot \gamma''.$

Demnach, wenn in jedem Felde eine beliebige Anzahl von Einzellasten P sich befinden, nach Gl. 5:

$$M_{\rho-1} \cdot \mu_{\rho-1} + 2M_{\rho} (\mu_{\rho-1} + \mu_{\rho}) + M_{\rho+1} \cdot \mu_{\rho} = (-\mu_{\rho-1} \cdot \Sigma_{\rho-1} P \gamma'_{\rho-1} - \mu_{\rho} \Sigma_{\rho} P \gamma''_{\rho}) l + \frac{6EJ}{l^2} \left(\frac{s_{\rho-1} - s_{\rho}}{\mu_{\rho-1}} + \frac{s_{\rho+1} - s_{\rho}}{\mu_{\rho}} \right) \dots \dots \dots 6.$$

Hat man es dagegen in jedem Felde mit einer gleichförmigen Last q für die Längeneinheit zu tun, so folgt aus Gl. 5 nach Ausrechnung der Integrale, wenn man $c = \gamma l$ und $d = \delta l$ einführt:

$$M_{\rho-1} \cdot \mu_{\rho-1} + 2M_{\rho} (\mu_{\rho-1} + \mu_{\rho}) + M_{\rho+1} \cdot \mu_{\rho} = -\frac{l^2}{4} [q_{\rho-1} (2 \cdot \mu_{\rho-1}^2 - \gamma_{\rho-1}^2 - \delta_{\rho-1}^2) (\delta_{\rho-1}^2 - \gamma_{\rho-1}^2) + q_{\rho} (4\mu_{\rho}^2 (\delta_{\rho}^2 - \gamma_{\rho}^2) - 4\mu_{\rho} (\delta_{\rho}^3 - \gamma_{\rho}^3) + (\delta_{\rho}^4 - \gamma_{\rho}^4))] + \frac{6EJ}{l^2} \left(\frac{s_{\rho-1} - s_{\rho}}{\mu_{\rho-1}} + \frac{s_{\rho+1} - s_{\rho}}{\mu_{\rho}} \right) \dots \dots \dots 7.$$

Auf der rechten Seite dieser Gleichung beziehen sich die Abszissen c und d des Last-Anfanges bezw. Endes auf das betreffende Feld.

Erstreckt sich die gleichförmige Belastung je über das ganze Feld, so ist $\gamma = 0$ und $\delta = 1$, folglich die Gleichung der 3 Stützenmomente:

$$M_{\rho-1} \cdot \mu_{\rho-1} + 2M_{\rho} (\mu_{\rho-1} + \mu_{\rho}) + M_{\rho+1} \cdot \mu_{\rho} = -\frac{1}{4} q_{\rho-1} \cdot l^2 \cdot \mu_{\rho-1}^3 - \frac{1}{4} q_{\rho} l^2 \cdot \mu_{\rho}^3 + \frac{6EJ}{l^2} \left(\frac{s_{\rho-1} - s_{\rho}}{\mu_{\rho-1}} + \frac{s_{\rho+1} - s_{\rho}}{\mu_{\rho}} \right) \dots \dots \dots 8.$$

§ 4. Bestimmung der Querkräfte und Stützendrücke. Die Anwendung der Gleichung der drei Stützenmomente auf sämtliche Felder des Balkens führt zur Bestimmung sämtlicher Stützenmomente. Sind diese bekannt, so ergeben sich die Querkräfte Q' und Q'' , wenn die Belastung aus Einzellasten P besteht, zu

$$Q' = \frac{1}{l} \left[M'' - M' + l \sum_0^1 P (1 - \alpha) \right] \dots \dots \dots 9.$$

$$Q'' = \frac{1}{l} \left[M'' - M' - l \sum_0^1 P \alpha \right] \dots \dots \dots 10.$$

Wenn dagegen die Belastung eine gleichförmige q für die Längeneinheit ist

$$Q' = \frac{1}{l} \left[M'' - M' + l^2 \int_0^1 q (1 - \xi) d\xi \right] = \frac{1}{l} \left\{ M'' - M' + \frac{ql^2}{2} [\delta(2 - \delta) - \gamma(2 - \gamma)] \right\} \dots \dots \dots 11.$$

$$Q'' = \frac{1}{l} \left[M'' - M' - l^2 \int_0^1 q \xi d\xi \right] = \frac{1}{l} \left[M'' - M' - \frac{ql^2}{2} (\delta^2 - \gamma^2) \right] \dots \dots \dots 12.$$

und man erhält endlich den Druck z. B. an der ρ ten Stütze:

$$A_{\rho} = Q'_{\rho} - Q''_{\rho-1} \dots \dots \dots 13.$$

II. Homogener durchlaufender Balken über zwei Öffnungen bei gegebener Belastung.

A. Unveränderliches J.

§ 5. Belastung mit Einzellasten. Bei einem freigelagerten Träger mit zwei Feldern ist stets $M_1 = M_3 = 0$. Aus Gl. 6 folgt in diesem Falle, wenn man die bestehend (Textfig. 238) angegebenen Bezeichnungen und die Abkürzung

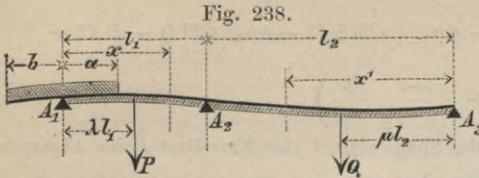


Fig. 238.

$$\frac{6 EJ}{l} \left[(s_1 - s_2) + \frac{1}{v} (s_3 - s_2) \right] = Y \quad . \quad . \quad 14.$$

wobei $l_1 = l$ und $l_2 = v l$ gesetzt wurde, einführt,

$$M_2 = \frac{1}{l} Y - \frac{[\Sigma P(\lambda - \lambda^3) - \Sigma Q v^2 (\mu - \mu^3)] l}{2(1+v)} \quad . \quad . \quad 15.$$

Setzt man diesen Wert für M' bezw. M'' in Gl. 9 und 10 ein und berechnet dann die Stützendrücke nach Gl. 13, so ergibt sich:

$$A_1 = \frac{\frac{1}{l^2} Y - [\Sigma P(\lambda - \lambda^3) + \Sigma Q v^2 (\mu - \mu^3)]}{2(1+v)} + \Sigma P(1 - \lambda) \quad . \quad . \quad . \quad 16.$$

$$A_2 = \frac{-\frac{1}{l^2} Y + [\Sigma P(\lambda - \lambda^3) + \Sigma Q v^2 (\mu - \mu^3)]}{2v} + \Sigma P\lambda + \Sigma P\mu \quad . \quad . \quad . \quad 17.$$

$$A_3 = \frac{\frac{1}{l^2} Y - [\Sigma P(\lambda - \lambda^3) + \Sigma Q v^2 (\mu - \mu^3)]}{2(1+v)v} + \Sigma Q(1 - \mu) \quad . \quad . \quad . \quad 18.$$

Für gleich große Felder und gleich hohe Stützen ist $l_1 = l_2 = l$, $v = 1$ und $Y = 0$, folglich

$$A_1 = \Sigma \left\{ \frac{P}{4} (4 - \lambda [5 - \lambda^2]) \right\} - \Sigma \left\{ \frac{Q}{4} \mu (1 - \mu^2) \right\} \quad . \quad . \quad . \quad 19.$$

$$A_2 = \Sigma \left\{ \frac{P}{2} \lambda (3 - \lambda^3) \right\} + \Sigma \left\{ \frac{Q}{2} \mu (3 - \mu^3) \right\} \quad . \quad . \quad . \quad 20.$$

$$A_3 = \Sigma \left\{ \frac{Q}{4} (4 - \mu [5 - \mu^2]) \right\} - \Sigma \left\{ \frac{P}{4} \lambda (1 - \lambda^3) \right\} \quad . \quad . \quad . \quad 21.$$

§ 6. Gleichförmige Belastung (Textfig. 238). Aus Gl. 8 ergibt sich, wenn die Belastung in dem ersten Felde q_1 und im zweiten q_2 für die Längeneinheit heißt:

$$M_2 = \frac{\frac{Y}{l} - \frac{1}{4} l^2 [q_1 + v^3 q_2]}{2(1+v)} \quad . \quad . \quad . \quad 22.$$

Demnach aus Gl. 13 unter Benutzung von Gl. 11 und 12:

$$A_1 = \frac{\frac{Y}{l^2} - \frac{1}{4} l (q_1 + v^3 q_2)}{2(1+v)} + \frac{1}{2} q_1 l \quad . \quad . \quad . \quad 23.$$

$$A_2 = \frac{-\frac{Y}{l^2} + \frac{1}{4} l (q_1 + v^3 q_2)}{2v} + \frac{1}{2} l (q_1 + v q_2) \quad . \quad . \quad . \quad 24.$$

$$A_3 = \frac{\frac{Y}{l^2} - \frac{1}{4} l (q_1 + v^3 q_2)}{2(1+v)v} + \frac{1}{2} l \cdot v q_2 \quad . \quad . \quad . \quad 25.$$

Ist $q_1 = q_2 = q$, so erhält man:

$$A_1 = \frac{1}{8} [3 + v(1-v)] q l + \frac{Y}{2(1+v)l^2} \quad . \quad . \quad . \quad 26.$$

$$A_2 = \frac{1}{8v} [(1+4v) + v^2(v+4)] q l - \frac{Y}{2vl^2} \quad . \quad . \quad . \quad 27.$$

$$A_3 = \frac{1}{8v} [3v^2 + (v-1)] q l + \frac{Y}{2v(1+v)l^2} \quad . \quad . \quad . \quad 28.$$

Für $l_1 = l_2 = l$ und gleich hohe Stützen folgt aus Gl. 23 bis 25:

$$A_1 = \frac{l}{16} (7q_1 - q_2); \quad A_2 = \frac{10}{16} l (q_1 + q_2); \quad A_3 = \frac{l}{16} (7q_2 - q_1) \quad . \quad . \quad . \quad 29.$$

und wenn auch $q_1 = q_2 = q$ ist

$$A_1 = A_3 = \frac{3}{8} q l; \quad A_2 = \frac{10}{8} q l \quad . \quad . \quad . \quad 30.$$

Erstreckt sich eine gleichförmige Belastung k für die Längeneinheit nicht über ganze Felder, sondern über eine Strecke $(\alpha + \beta) = (\alpha + \beta)l$ in der Nähe einer Stütze, z. B. A_1 (Textfig. 238), so erhält man, wenn man zunächst in Gl. 7 einsetzt: $\gamma = 0$; $\delta = \alpha$; $q_1 = k$; $q_2 = 0$ und $M_1 = -\frac{1}{2} k \beta^2 l^2$, für gleich hohe Stützen:

$$A_1 = k l \left\{ \alpha \left(1 - \frac{\alpha}{8} \cdot \frac{6 + 4v - \alpha^2}{1 +} \right) + \frac{\beta}{4} \left(4 + \beta \frac{2v + 3}{1 + v} \right) \right\} \quad . \quad . \quad . \quad 31.$$

$$A_2 = kl \left\{ \alpha^2 \cdot \frac{4\nu + 2 - \alpha^2}{8\nu} - \beta^2 \frac{1 + 2\nu}{4\nu} \right\} \dots \dots \dots 32.$$

$$A_3 = -kl [\alpha^2(2 - \alpha^2) - 2\beta^2] \frac{1}{8\nu(1 + \nu)} \dots \dots \dots 33.$$

B. Veränderliches J .

§ 7. Gleichung der drei Stützenmomente. Aus Gl. 4 folgt, da jetzt $M_1 = M_3 = 0$ ist, wenn man $(l_2 - x)$ kürzer mit $x' = \xi'l_2 = \xi'\nu l$ bezeichnet:

$$\left\{ \int_0^1 \frac{\xi^2 \cdot d\xi}{J} + \nu \int_0^1 \frac{\xi'^2 \cdot d\xi'}{J} \right\} M_2 = - \left\{ \int_0^1 \frac{\mathfrak{M}\xi d\xi}{J} + \nu \int_0^1 \frac{\mathfrak{M}\xi' d\xi'}{J} \right\} + \frac{E}{l^2} \cdot \left\{ (s_1 - s_2) + \frac{s_3 - s_2}{\nu} \right\} \dots 34.$$

§ 8. Gleichförmige Belastung mit q_1 in den ersten und mit q_2 für die Längeneinheit in der zweiten Öffnung. Nach Gl. 34 ist dann:

$$\left\{ \int_0^1 \frac{\xi^2 \cdot d\xi}{J} + \nu \int_0^1 \frac{\xi'^2 \cdot d\xi'}{J} \right\} M_2 + \frac{1}{2} q_1 l^2 \left\{ \int_0^1 \frac{\xi^2 \cdot d\xi}{J} - \int_0^1 \frac{\xi^3 \cdot d\xi}{J} \right\} + \frac{1}{2} q_2 \nu^3 l^2 \left\{ \int_0^1 \frac{\xi'^2 d\xi'}{J} - \int_0^1 \frac{\xi'^3 d\xi'}{J} \right\} = \frac{E}{l^2} \left\{ (s_1 - s_2) + \frac{s_3 - s_2}{\nu} \right\} \dots \dots \dots 35.$$

Ist $l_1 = l_2 = l$ und außerdem $q_1 = q_2 = q$, so erhält man unter Benutzung des aus Gl. 35 folgenden Wertes von M_2 , bei gleich hohen Stützen:

$$A_1 = A_3 = \frac{M_2}{l} + \frac{ql}{2} = \frac{1}{2} ql \frac{\int_0^1 \frac{\xi^3 \cdot d\xi}{J}}{\int_0^1 \frac{\xi^2 \cdot d\xi}{J}} \dots \dots \dots 36.$$

Ist dagegen nur das linke Feld belastet, also $q_1 = q$; $q_2 = 0$, so ergibt unter Benutzung von Gl. 35:

$$A_1 = \frac{M_2}{l} + \frac{ql}{2} = \frac{1}{4} ql \left[\frac{\int_0^1 \frac{\xi^3 \cdot d\xi}{J}}{\int_0^1 \frac{\xi^2 \cdot d\xi}{J}} + 1 \right] \dots \dots \dots 37.$$

$$A_3 = \frac{M_2}{l} = \frac{1}{4} ql \left[\frac{\int_0^1 \frac{\xi^3 \cdot d\xi}{J}}{\int_0^1 \frac{\xi^2 \cdot d\xi}{J}} - 1 \right] \dots \dots \dots 38.$$

§ 9. Berechnung der in den Formeln 34 bis 38 vorkommenden Integrale. Verändert sich das Trägheitsmoment J sprunghweise, so daß von $x = 0$ bis $x = x_1 = \xi_1 l$, $J = J_1$; von x_1 bis $x_2 = \xi_2 l$, $J = J_2$; von x_2 bis $x_3 = \xi_3 l$, $J = J_3$ u. s. w. heißt, so hat man

$$\int_0^1 \frac{\xi^2 d\xi}{J} = \frac{1}{3} \left[\frac{\xi_1^3}{J_1} + \frac{1}{J_2} (\xi_2^3 - \xi_1^3) + \frac{1}{J_3} (\xi_3^3 - \xi_2^3) + \dots \right] \dots \dots \dots 39.$$

$$\int_0^1 \frac{\xi^3 d\xi}{J} = \frac{1}{4} \left[\frac{\xi_1^4}{J_1} + \frac{1}{J_2} (\xi_2^4 - \xi_1^4) + \frac{1}{J_3} (\xi_3^4 - \xi_2^4) + \dots \right] \dots \dots \dots 40.$$

Verändert sich dagegen J stetig, so ist nach Simpson, wenn $J = J_0$ für $\xi = 0$ und $J = J_\mu$ für $\xi = 1$, wobei μ eine gerade Zahl Teile $\Delta \xi$ bedeutet, in welche 1 zerlegt gedacht wird:

$$\int_0^1 \frac{\xi^2 d\xi}{J} = \sum_0^1 \frac{\xi^2 \cdot \Delta \xi}{J} = \frac{(\Delta \xi)^3}{3} \left(\frac{1}{i_1} + \frac{2^2}{i_2} + \frac{3^2}{i_3} + \dots + \frac{\mu^2}{i_\mu} \right) \dots \dots \dots 41.$$

$$\int_0^1 \frac{\xi^3 \cdot d\xi}{J} = \sum_0^1 \frac{\xi^3 \cdot \Delta \xi}{J} = \frac{(\Delta \xi)^4}{3} \left(\frac{1}{i_1} + \frac{2^3}{i_2} + \frac{3^3}{i_3} + \dots + \frac{\mu^3}{i_\mu} \right) \dots \dots \dots 42.$$

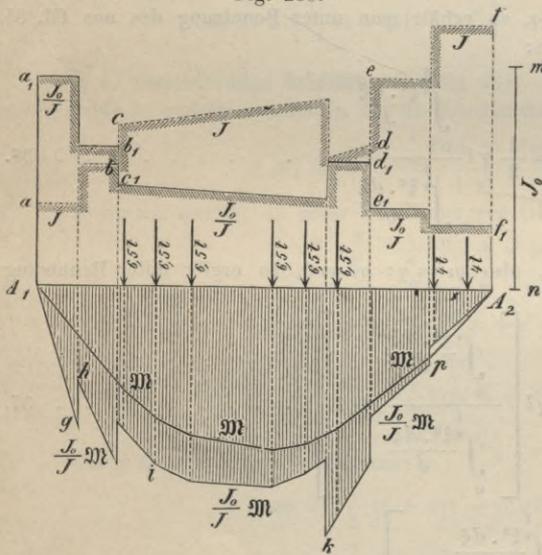
Hierin ist zur Abkürzung:

$$J_0, \frac{1}{4} J_1, \frac{1}{2} J_2, \frac{1}{4} J_3, \dots \dots \frac{1}{2} J_{\mu-2}, \frac{1}{4} J_{\mu-1}, J_\mu$$

mit $i_0, i_1, i_2, i_3, \dots \dots i_{\mu-2}, i_{\mu-1}, i_\mu$ bezeichnet worden.

§ 10. Belastung mit Einzellasten. Man wird in diesem Falle mit Vorteil den graphischen Weg einschlagen. $A_1 A_2$ (Textfig. 239) sei die Öffnung l einer Drehbrücke. Schreibt man in der Gl. 34: $\frac{l^3}{J_0} \int_0^1 \frac{J_0}{J} \xi^2 d\xi$ statt $l^3 \int_0^1 \frac{\xi^2 \cdot d\xi}{J}$, wobei J_0 ein beliebig angenommenes, unveränderliches Trägheitsmoment bedeutet, und leitet man (Textfig. 239) aus den gegebenen J -Werten (d. h. den Ordinaten der

Fig. 239.



Figur $abcd ef$) die Werte $\frac{J_0}{J}$ (d. h. die Ordinaten der Fig. $a_1 b_1 c_1 d_1 e_1 f_1$) ab, so stellt der Ausdruck $l^3 \int_0^1 \frac{J_0}{J} \xi^2 d\xi$ nichts anderes, als das Trägheitsmoment der Fläche $A_1 a_1 b_1 c_1 d_1 e_1 f_1 A_2$ in Bezug auf die Lotrechte durch A_1 dar. Dieses Trägheitsmoment kann bekanntlich auf graphischem Wege leicht unter Benutzung von Seilpolygonen gefunden werden, wodurch sich dann auch der Wert von $l^3 \int_0^1 \frac{\xi^2 d\xi}{J}$ durch Multiplikation des Trägheitsmomentes mit $\frac{1}{J_0}$ ergibt.

Ist ferner für die gegebene Belastung die einfache Momentenfläche (d. h. diejenige Momentenfläche, welche einem einfachen Balken $A_1 A_2$ entspricht) bekannt, so läßt sich auch der in Gl. 34

vorkommende Ausdruck $l^2 \int_0^1 \frac{\mathfrak{M} \xi d\xi}{J}$ konstruieren. Schreibt man nämlich denselben: $\frac{l^2}{J_0} \int_0^1 \frac{J_0 \mathfrak{M}}{J} \xi d\xi$ und leitet aus der gegebenen einfachen Momentenfläche (deren Ordinaten = \mathfrak{M} sind) die Figur $A_1 g i k p A_2$ (deren Ordinaten = $\frac{J_0}{J} \mathfrak{M}$ sind) ab, so stellt der Ausdruck $l^2 \int_0^1 \frac{J_0 \mathfrak{M}}{J} \xi \cdot d\xi$ das statische Moment dieser Fläche in Bezug auf die Lotrechte durch A_1 dar. Dasselbe kann bekanntlich leicht mit Hilfe eines Seilpolygons bestimmt werden, wonach sich dann auch nach Multiplikation mit $\frac{1}{J_0}$ der Wert von $l^2 \int_0^1 \frac{\mathfrak{M} \xi d\xi}{J}$ ergibt.

Ganz ähnlich bestimmen sich die Ausdrücke $l^3 \int_0^1 \frac{\xi^2 d\xi}{J}$ beziehentlich $l^3 \int_0^1 \frac{\mathfrak{M} \xi^2 d\xi}{J}$ für die zweite Öffnung $l_2 = \nu l$ der Drehbrücke.

Ist die Belastung eine gleichförmige $= q$, so wird die einfache Momentenfläche eine Parabelfläche, die gegeben ist durch die Gleichung $\eta = \frac{1}{2} q (\xi - \xi^2)$, bezogen auf die Auflagerlotrechte und die Stützweite Eins. Für die Stützweite l wird der Multiplikator l^2 .

III. Ungünstigste Belastung durchlaufender Balken mit zwei Feldern.

§ 11. Gleichförmige Belastung. Vorausgesetzt wird gleich hohe Lage der Stützen und unveränderliches Trägheitsmoment J . Eine um $u = \tau l$ von der Stütze A_1 im Felde l_1 befindliche Einzellast P erzeugt (wie sich nach obigem berechnen läßt) ein Biegemoment $M = 0$ in einem Querschnitte, dessen Abstand von A_1 sich zu $x = \frac{2(1 + \nu)}{3 + 2\nu - \tau^2} \cdot l$ ergibt. Umgekehrt findet man

$$u = l \sqrt{3 + 2\nu - \frac{2(1 + \nu)}{\xi}} \dots \dots \dots 43.$$

Hierdurch ist für jeden Querschnitt x eine Belastungsscheide u gegeben, insofern jede im linken Felde rechts von der Scheide befindliche Last in jenem Querschnitte ein $+M$, jede links von der Scheide befindliche Last ein $-M$ erzeugt. Kommt nach Gl. 43 $u = 0$ oder negativ heraus, so bildet die Stütze A_1 selbst die Belastungsscheide.

Berücksichtigt man ferner, dafs jede Last in der zweiten Öffnung l_2 nach Gl. 16 ein $-A_1$, also auch negative M in allen Querschnitten von l_1 erzeugt, so lassen sich hiernach leicht diejenigen Verteilungen der Belastung feststellen, bei welchen in irgend einem Querschnitte von l_1 das $\max(+M)$ oder das $\max(-M)$ entsteht. Die ungünstigsten Belastungen für die Querschnitte des Feldes l_2 ergeben sich aus denen des l_1 durch symmetrische Vertauschung.

Was ferner die Querkräfte anlangt, so erzeugt jede Einzellast P in l_1 ein $+A_1$, welches kleiner als P_1 ist und ein $-A_3$. Zwischen A_1 und der Last hat man also $+Q$, zwischen der Last und A_2 dagegen $-Q$ und in allen Querschnitten von l_2 wieder $+Q$. Um also $\max(+Q)$ in einem Querschnitte von l_1 zu erhalten, hat man nur das Stück zwischen diesem Querschnitte und A_2 , um dagegen $\max(-Q)$ zu erzielen, ist das Stück links vom Querschnitte und das ganze Feld l_2 zu belasten. Liegt der fragliche Querschnitt in l_2 , so gelten entsprechende, durch symmetrische Vertauschung abzuleitende Belastungsgesetze.

Sind für die ungünstigsten Belastungen die Belastungsscheiden bekannt, so sind die betreffenden Werte von $c = \gamma l$ und $d = \delta l$ in Gl. 7 einzusetzen, wodurch sich zunächst M_2 und aus diesem leicht A_1 , folglich auch die $\max M$ und $\max Q$ für die betreffenden Querschnitte berechnen lassen. Die Ergebnisse einer solchen Berechnung sind in den nachfolgenden Tabellen gegeben. In denselben bedeutet g die unveränderliche Eigenlast und q die am ungünstigsten verteilt vorausgesetzte zufällige Last, beide auf die Längeneinheit bezogen. Vorausgesetzt wird hierbei ausdrücklich, dafs der Balken sich von den Stützen nicht abheben kann.

Querkräfte.

Tabelle I. $l_2 = l_1 = l$ und $\nu = 1$.

$\xi = \frac{x}{l}$	Einfluss von g	Einfluss von p	
		$\max(+Q)$	$\max(-Q)$
—	a	b	c
0	+ 0,375	0,4375	0,0625
0,1	+ 0,275	0,3437	0,0687
0,2	+ 0,175	0,2624	0,0874
0,3	+ 0,075	0,1932	0,1182
0,375	0	0,1491	0,1491
0,4	— 0,025	0,1359	0,1609
0,5	— 0,125	0,0898	0,2148
0,6	— 0,225	0,0544	0,2794
0,7	— 0,325	0,0287	0,3537
0,8	— 0,425	0,0119	0,4369
0,9	— 0,525	0,0027	0,5277
1,0	— 0,625	0	0,6250
l	$g \cdot l$	$p \cdot l$	$p \cdot l$

Zu Tabelle I:

Zu a. $Q = + gl (0,375 - \xi) = gl [\omega] \dots \dots \dots 44.$

Zu b. $max (+) Q = pl \frac{1}{16} [8(1 - \xi)^2 - (1 - \xi^2)^2] \dots \dots \dots 45.$

Zu c. $max (-) Q = pl \cdot [\omega] - max (+) Q \dots \dots \dots 46.$

Auflagerdrücke:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= + 0,375 gl \text{ und } A_2 = + 1,250 gl \\ max (+) A_1 &= + 0,4375 ql \text{ und } max (-) A_1 = - 0,0625 ql \\ max (+) A_2 &= + 1,250 ql \text{ und } max (-) A_2 = 0 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 47.$$

Tabelle II.

1. Feld.

$l_2 = 0,5 l_1$

2. Feld.

$\xi = \frac{x}{l_1}$	Einfluss von g		Einfluss von p		$\xi' = \frac{x'}{l_2}$	Einfluss von g		Einfluss von p	
	Q	$max (+) Q$	$max (-) Q$	Q		$max (+) Q$	$max (-) Q$		
	a	b	c		a'	b'	c'		
0	+ 0,4062	0,4167	0,0104	0	- 0,0625	0,1667	0,2292		
0,1	+ 0,3062	0,3233	0,0171	0,1	- 0,0125	0,1696	0,1820		
0,2	+ 0,2062	0,2432	0,0370	0,125	0	0,1757	0,1757		
0,3	+ 0,1062	0,1760	0,0698	0,2	+ 0,0375	0,1783	0,1408		
0,4	+ 0,0062	0,1212	0,1150	0,3	+ 0,0875	0,1927	0,1053		
0,406	0	0,1183	0,1183	0,4	+ 0,1375	0,2128	0,0753		
0,5	- 0,0938	0,0781	0,1719	0,5	+ 0,1875	0,2383	0,0508		
0,6	- 0,1938	0,0459	0,2396	0,6	+ 0,2375	0,2690	0,0315		
0,7	- 0,2938	0,0233	0,3171	0,7	+ 0,2875	0,3046	0,0171		
0,8	- 0,3938	0,0092	0,4030	0,8	+ 0,3375	0,3448	0,0073		
0,9	- 0,4938	0,0020	0,4956	0,9	+ 0,3875	0,3893	0,0018		
1,0	- 0,5938	0	0,5938	1,0	+ 0,4375	0,4375	0		
l_1	$g l_1$	$p l_1$	$p l_1$	l_2	$g l_1$	$p l_1$	$p l_1$		

Zur Berechnung der Verhältniszahlen der Spalten a bis c des 1. Feldes dienen nachstehende Gleichungen 48 bis 50^{a-c}, wobei $\nu = 0,50$ zu setzen ist:

Zu a. $Q_s = + gl \left[\frac{3 + 4\nu - \nu^3}{8(1 + \nu)} - \xi \right] = gl \cdot [\omega_1] \dots \dots \dots 48^a.$

Zu b. $max (+) Q_p = ql \cdot \frac{1}{8(1 + \nu)} [4(1 + \nu)(1 - \xi)^2 - (1 - \xi^2)^2] \dots \dots \dots 49^a.$

Zu c. $max (-) Q_p = ql [\omega_1] - max (+) Q \dots \dots \dots 50^a.$

Für das 2. Feld findet man die Gleichungsfolge:

Zu a'. $Q_s = - gl \left[\frac{3\nu^2 + (\nu - 1)}{8\nu} - \nu\xi' \right] = - gl [\omega'_1] \dots \dots \dots 48^b.$

Zu b'. $max (+) Q_p = + ql [\omega'_1] - max (-) Q \dots \dots \dots 49^b.$

Zu c'. $max (-) Q_p = - ql \cdot \frac{1}{2} \left[\nu(1 - \xi')^2 - \frac{\nu^2}{1 + \nu} \varphi(\xi') \right] \dots \dots \dots 50^b.$

Hierbei ist $\varphi(\xi') = (1 - \xi')^2 - (1 - \xi')^3 + \frac{1}{4}(1 - \xi')^4$ und $\xi' = \frac{x'}{l_2}$.

Auflagerdrücke:

Aus den Werten der Tabelle II erhält man sofort:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= 0,4062 gl; A_2 = (0,5938 + 0,4375) gl = 1,0313 gl \text{ und } A_3 = 0,0625 gl \\ max (+) A_1 &= + 0,4167 ql; max (-) A_1 = - 0,0104 ql; max (+) A_2 = + 1,0313 ql \\ max (+) A_3 &= + 0,2292 ql \text{ und } max (-) A_3 = - 0,1667 ql \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 51.$$

Biegungsmomente.

Tabelle III. $l_2 = l_1 = l$ und $\nu = 1$.

$\xi = \frac{x}{l}$	Einfluss von g		Einfluss von p	
	M	$max(+M)$	$max(-M)$	
—	a	b	c	
0	0	0	0	0
0,1	+ 0,0325	0,03875	0,00625	
0,2	+ 0,0550	0,06750	0,01250	
0,3	+ 0,0675	0,08625	0,01875	
0,4	+ 0,0700	0,09500	0,02500	
0,5	+ 0,0625	0,09375	0,03125	
0,6	+ 0,0450	0,08250	0,03750	
0,7	+ 0,0175	0,06125	0,04375	
0,75	0	0,04688	0,04688	
0,8	- 0,0200	0,03000	0,05000	
0,85	- 0,0425	0,01523	0,05773	
0,9	- 0,0675	0,00611	0,07361	
0,95	- 0,0950	0,00138	0,09638	
1,0	- 0,1250	0	0,12500	
l	$g l^2$	$p l^2$	$p l^2$	

Zu Tabelle III:

Zu a. $M_g = + g l^2 \cdot \frac{1}{8} (3\xi - 4\xi^2) = g l^2 \cdot [\omega_1] \dots \dots \dots 52^a.$

für $\xi_m = 0,375$ wird $max M_g = 0,0703 g l^2$.

Zu b. 1. Von $\xi = 0$ bis $\xi = 0,80$
 $max(+M)_p = q l^2 [0,4375 \xi - 0,5000 \xi^2] = q l^2 [\omega_2] \dots \dots \dots 53^a.$

für $\xi_m = 0,4375$ wird $max(max M_p) = 0,09575 q l^2$.

2. Von $\xi = 0,80$ bis $\xi = 1,00$ wird

$max(+M)_p = p l^2_1 \left[\left\{ \frac{1}{2} (1 - \tau^2) - \frac{1}{16} (1 - \tau^2)^2 \right\} \xi - \frac{1}{2} (\xi - \tau)^2 \right] = + p l^2_1 [\omega_3] \dots \dots 53^b.$

hierbei ist $1 - \tau^2 = 4 \left(\frac{1}{\xi} - 1 \right)$.

Zu c. 1. Von $\xi = 0$ bis $\xi = 0,80$ wird $max(-M)_p = - q l^2 \left(\frac{\xi}{16} \right) = - q l^2_1 [\omega_4] \dots \dots \dots 54^a.$

2. Von $\xi = 0,80$ bis $\xi = 1,00$ wird $max(-M)_p = p l \{ [\omega_1] - [\omega_3] \} \dots \dots \dots 54^b.$

Tabelle IV.

1. Feld. $l_2 = 0,5 l_1$ 2. Feld

$\xi = \frac{x}{l_1}$	Einfluss von g			$\xi' = \frac{x'}{l_2}$	Einfluss von p		
	M	$max(+M)$	$max(-M)$		M	$max(+M)$	$max(-M)$
—	a	b	c	—	a'	b'	c'
0	0	0	0	0	0	0	0
0,1	+ 0,0356	0,0367	0,0011	0,1	+ 0,0018	0,0102	0,0083
0,2	+ 0,0612	0,0633	0,0021	0,125	+ 0,0020	0,0123	0,0103
0,3	+ 0,0768	0,0800	0,0031	0,2	+ 0,0013	0,0179	0,0166
0,4	+ 0,0824	0,0867	0,0042	0,25	0	0,0208	0,0208
0,5	+ 0,0781	0,0833	0,0052	0,3	- 0,0019	0,0231	0,0249
0,6	+ 0,0637	0,0700	0,0063	0,4	- 0,0075	0,0258	0,0333
0,7	+ 0,0394	0,0467	0,0073	0,5	- 0,0156	0,0261	0,0416
0,75	+ 0,0234	0,0313	0,0078	0,6	- 0,0262	0,0238	0,0499
0,8	+ 0,0050	0,0164	0,0113	0,7	- 0,0394	0,0189	0,0583
0,812	0	0,0140	0,0140	0,8	- 0,0550	0,0117	0,0667
0,9	- 0,0394	0,0013	0,0406	0,9	- 0,0731	0,0028	0,0759
1,0	- 0,0938	0	0,0938	1,0	- 0,0938	0	0,0938
l_1	$g l_1^2$	$p l_1^2$	$p l_1^2$	l_2	$g h^2$	$p h^2$	$p h^2$

Für das 1. Feld dient die Gleichungsfolge:

Zu a.
$$M_g = gl^2 \left[\frac{1}{2} (\xi - \xi^2) - \frac{1 + \nu^3}{8(1 + \nu)} \xi \right] = gl^2 [\omega_1] \dots \dots \dots 55^a.$$

für $\xi_m = \frac{3 + 4\nu - \nu^3}{8(1 + \nu)} = 0,406$ wird $\max M_g = + 0,0825 gl^2.$

Zu b. 1. Von $\xi = 0$ bis $\xi = \frac{2(1 + \nu)}{3 + 2\nu} = 0,750$ wird $\max (+) M_p = pl^2 \left[\frac{1}{2} (\xi - \xi^2) - \frac{\xi}{8(1 + \nu)} \right] = pl^2 [\omega_2] \dots \dots \dots 56^a.$

für $\xi_m = \frac{3 + 4\nu}{8(1 + \nu)} = 0,417$ wird $\max (\max M_p) = + pl^2 \cdot 0,0868.$

2. Von $\xi = \frac{2(1 + \nu)}{3 + 2\nu} = 0,750$ bis $\xi = 1,000$ wird $\max (+) M_p = pl^2 \left[\left\{ \frac{1}{2} (1 - \tau)^2 - \frac{(1 - \tau^2)^2}{8(1 + \nu)} \right\} \xi - \frac{1}{2} (\xi - \tau)^2 \right] = pl^2 [\omega_3] \dots \dots \dots 57^a.$

hierbei ist $1 - \tau^2 = 2(1 + \nu) \left(\frac{1}{\xi} - 1 \right).$

Zu c. 1. Von $\xi = 0$ bis $\xi = \frac{2(1 + \nu)}{3 + 2\nu} = 0,750$ wird $\max (-) M_p = pl^2 (+ [\omega_1] - [\omega_2]) \dots \dots 58^a.$

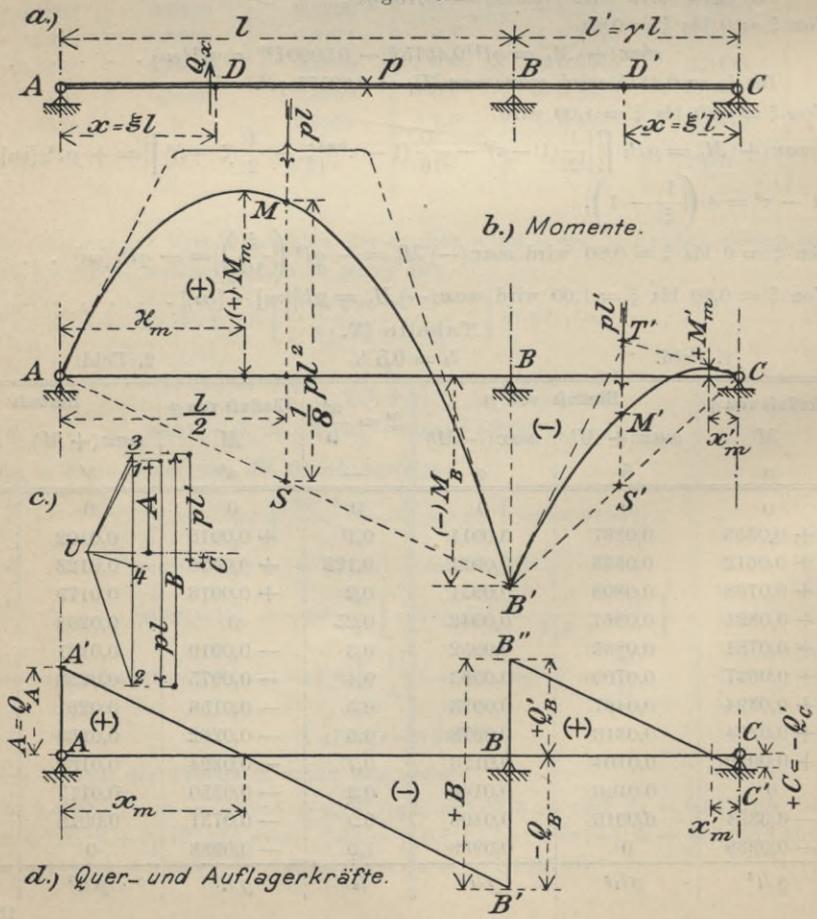
2. Von $\xi = \frac{2(1 + \nu)}{3 + 2\nu} = 0,750$ bis $\xi = 1,000$ wird $\max (-) M_p = pl^2 (+ [\omega_1] - [\omega_3]) \dots \dots 59^a.$

Für das 2. Feld gilt die Gleichungsfolge:

Zu a'.
$$M_g = gl^2 \left[\frac{1}{2} (\xi' - \xi'^2) \nu^3 - \frac{1 + \nu^3}{8(1 + \nu)} \xi' \right] = gl^2 [\omega_1'] \dots \dots \dots 55^b.$$

für $\xi'_m = \frac{3\nu^3 + 4\nu^2 - 1}{8\nu^2(1 + \nu)} = 0,125$ wird $\max M_g = + 0,0020 gl^2.$

Fig. 240.



Zu b'. 1. Von $\xi' = 0$ bis $\xi' = \frac{2(1+\nu)}{3\nu+2} = 0,857$ wird $\max(+M_p) = pl^2 \left[\frac{\nu^2}{2} (\xi' - \xi'^2) - \frac{\nu^3}{8(1+\nu)} \xi' \right] = pl^2 [\omega'_{2}] \dots \dots \dots 56b.$

für $\xi'_{m} = \frac{3\nu+4}{8(1+\nu)} = 0,458$ wird $\max(\max M_p) = + pl^2 \cdot 0,0262.$

2. Von $\xi' = \frac{2(1+\nu)}{3\nu+2} = 0,857$ bis $\xi' = 1,000$ wird $\max(+M_p) = pl^2 \left[\left\{ \frac{1}{2} (1 - \tau')^2 - \frac{\nu(1 - \tau'^2)^2}{8(1+\nu)} \right\} \xi' - \frac{1}{2} (\xi' - \tau')^2 \right] \nu^2 = pl [\omega'_{3}] \dots \dots \dots 57b.$

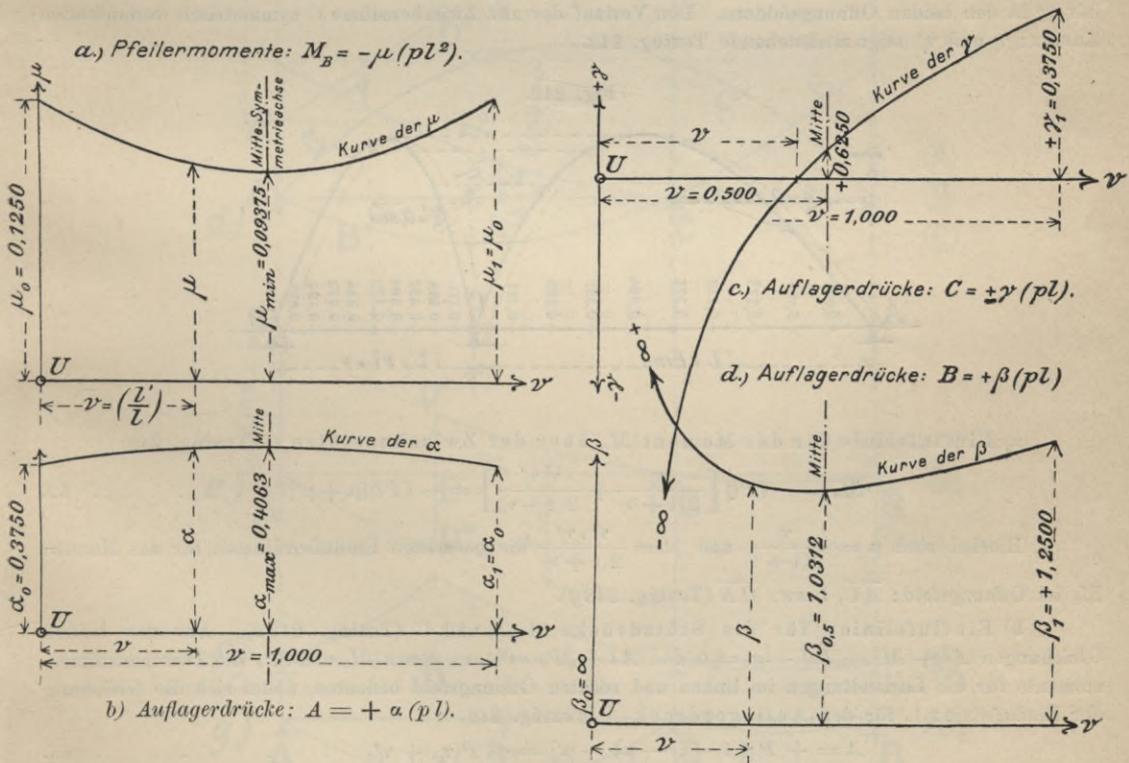
hierbei ist: $1 - \tau'^2 = \frac{2(1+\nu)}{\nu} \left(\frac{1}{\xi'} - 1 \right).$

Zu c'. 1. Von $\xi' = 0$ bis $\xi' = \frac{2(1+\nu)}{3\nu+2} = 0,857$ wird $\max(-M_p) = pl^2 [+ (\omega'_{1}) - (\omega'_{2})] \dots \dots 58b.$

2. Von $\xi' = \frac{2(1+\nu)}{3\nu+2} = 0,857$ bis $\xi' = 1,000$ wird $\max(-M_p) = pl^2 [+ (\omega'_{1}) - (\omega'_{3})] \dots \dots 59b.$

Textfig. 240 zeigt den Verlauf der nach den Spalten a der Tabellen II und IV berechneten Verhältniszahlen für die Momente, Querkräfte und Auflagerdrücke, sowie deren Prüfung mittels des Kräfte- und Seilpolygons. Hierbei ist bei den Momenten der Ordinatenmaßstab für $[\omega_1] = 1,000$ zu 300 mm und bei den Querkräften für $[\omega_1] = 1,000$ zu 30 mm gewählt worden. Der Multiplikator für die Momente ist gl^2 und für die Querkräfte gl .

Fig. 241.



Textfig. 241 a bis d zeigt die Abhängigkeit der Zwischenstützenmomente, sowie aller Auflagerdrücke vom Verhältnis $\nu = \left(\frac{l'}{l} \right)$ beider Öffnungsfelder bei Vollbelastung p (vergl. Textfig. 240).

Die Kurven der Verhältniszahlen μ , α , γ und β der Textfig. 241 a bis d ergeben sich aus den Gleichungen

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \frac{1}{8} (\nu^2 - \nu + 1) \\ \alpha &= \frac{1}{8} (3 + \nu - \nu^2) \\ \gamma &= \frac{1}{8\nu} (3\nu^2 + \nu - 1) \\ \beta &= \frac{1}{8\nu} (\nu^3 + 4\nu^2 + 4\nu + 1) \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 60.$$

Hieraus ist ersichtlich, dafs für $\nu = \frac{1}{2}$ das Pfeilmoment seinen kleinsten, und der Stützdruck am Ende des großen Öffnungsfeldes seinen größten Wert erreicht. Der Stützdruck am Ende des kleinen Öffnungsfeldes wird Null für $\nu = 0,4343$ (Fig. 241 c).

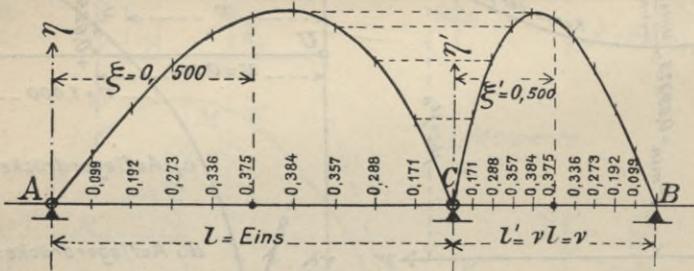
§ 12. Einzellasten. Die ungünstigste Einstellung eines Systems von Einzellasten (z. B. eines Eisenbahnzuges) erfolgt am besten mit Hilfe von Einflußlinien (Influenzlinien). Ein bequemes Verfahren hierzu, für durchlaufende Balken über zwei Felder, hat Müller-Breslau in dem Wochenblatte für Architekten und Ingenieure 1883²⁸⁾ veröffentlicht; dasselbe gilt ganz allgemein bei 3 ungleich hohen Stützen und beliebig veränderlichem Trägerquerschnitt.

A. Bei gleich hohen Stützen und unveränderlichem Trägheitsmoment lassen sich aber auch alle Einflußlinien aus Gleichung 5 einheitlich wie folgt ableiten; letztere nimmt unter den eben festgesetzten Voraussetzungen die Form an:

$$M_c \cdot 2(1 + \nu) = -(Pl) [(\xi - \xi^3) + (2\xi' - 3\xi'^3 + \xi'^5)] = -(Pl) [\eta + \eta'] \dots \dots 61.$$

Hierbei bezeichnet $x = \xi l$, bzw. $x' = \xi' l' = \xi' \nu l$ die jeweilige Stellung der wandernden Einzelast P in den beiden Öffnungsfeldern. Den Verlauf der zur Zwischenstütze C symmetrisch verlaufenden Kurven: η und η' zeigt nachstehende Textfig. 242.

Fig. 242.



a) Einflußlinie für das Moment M_c über der Zwischenstütze C (Textfig. 242)

$$M_c = -(Pl) \left[\frac{\eta}{2(1 + \nu)} + \frac{\nu^2 \eta'}{2(1 + \nu)} \right] = -(Pl) [\mu + \mu'] \dots \dots \dots 62.$$

Hierbei sind $\mu = \frac{\eta}{2(1 + \nu)}$ und $\mu' = \frac{\nu^2 \cdot \eta'}{2(1 + \nu)}$ die gesuchten Einflußordinaten für das Moment M_c im Öffnungsfeld: \overline{AC} , bzw. \overline{CB} (Textfig. 243 g).

b) Einflußlinien für die Stützdrücke A , B und C (Textfig. 243 d). Aus den beiden Gleichungen $Al + M_c - P(l - x) = 0$ und $Al + M'_c = 0$, in denen M_c und M'_c die Zwischenstützenmomente für die Laststellungen im linken und rechten Öffnungsfeld bedeuten, findet sich die Gleichung der Einflußlinie: 1. für den Auflagerdruck A (Textfig. 242)

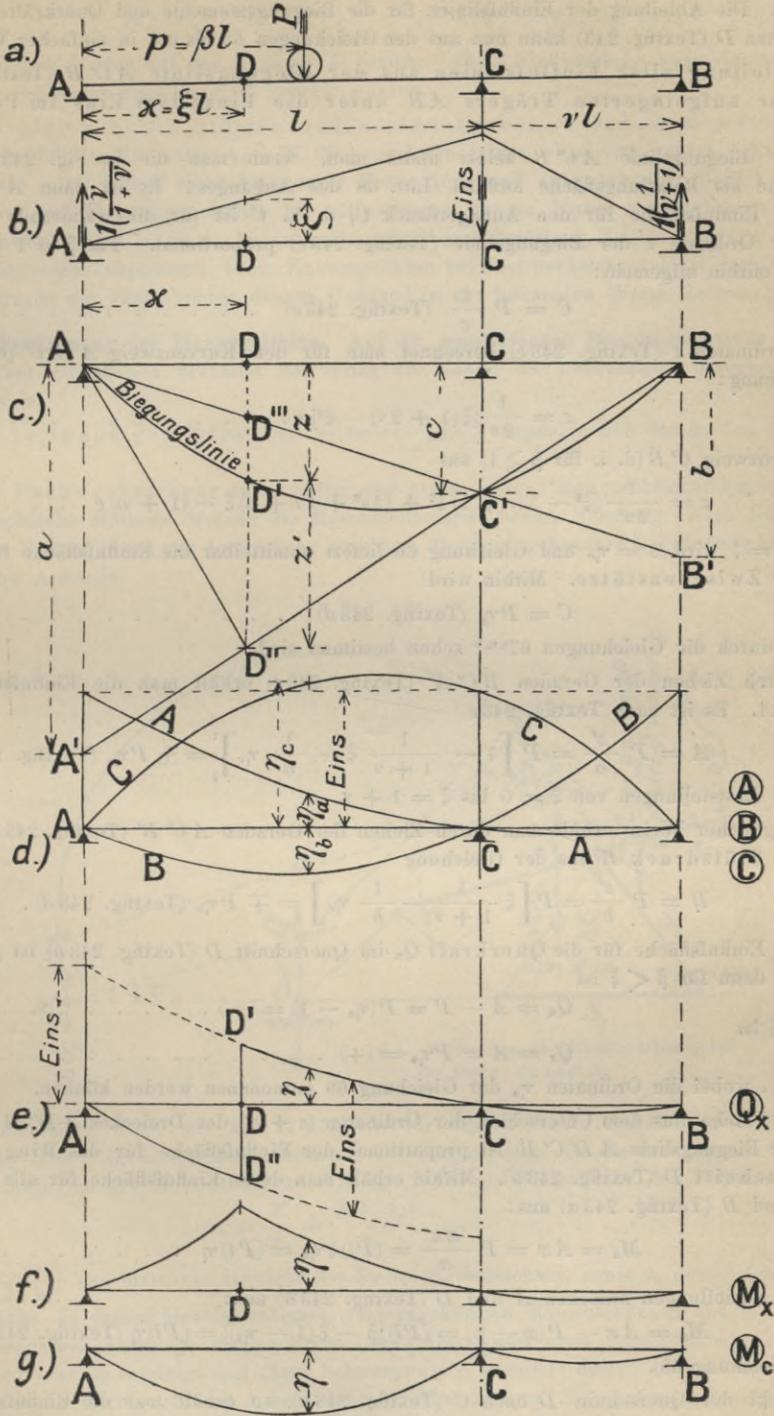
$$A = + P [((1 - \xi) - \mu) - \mu'] = + P (\eta_a + \eta'_a) \dots \dots \dots 63.$$

In ähnlicher Weise für

$$B = + P \left[-\frac{\mu}{\nu} + \left\{ \xi' - \frac{\mu'}{\nu} \right\} \right] = + P (-\eta_b + \eta'_b) \dots \dots \dots 64.$$

²⁸⁾ Müller-Breslau. Wochenschr. f. Arch. u. Ing.-Wesen 1883, S. 353 und Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1884, S. 277.

Fig. 243.



und schließlich für die Zwischenstütze C:

$$C = + P \left[\left\{ \xi + \frac{1+\nu}{\nu} \cdot \mu \right\} + \left\{ (1-\xi') + \frac{1+\nu}{\nu} \mu' \right\} \right] = + P(\eta_c + \eta'_c) \quad \dots \quad 65^a.$$

oder einfacher

$$C = P[(1 - (A + B)) + (1 - (A' + B'))] \quad \dots \quad 65^b.$$

wobei der erste Klammerausdruck für die Laststellungen im linken, der zweite für die im rechten Öffnungsfeld gilt. Die Ableitung der Einflußlinien für die Biegemomente und Querkräfte an beliebigen Zwischenpunkten D (Textfig. 243) kann nun aus den Gleichungen 62 bis 65^b in einfacher Weise erfolgen.

c) Ableitung aller Einflußlinien aus der Biegelinie $AC'B$ (Textfig. 243 c) des frei drehbar aufgelagerten Trägers AB unter die Einzellast Eins im Punkt C (Textfig. 243 b).

1. Die Biegelinie $AC'B$ selbst findet man, wenn man die in Fig. 243 b dargestellte Momentenfläche als Belastungsfläche auffaßt (Litt. 68 des Anhanges). Es ist dann $AD'C'B$ (Textfig. 243 c) die Einflußfläche für den Auflagerdruck C , d. h. C ist für die wandernde Last P (Textfig. 243 a) der Ordinate z der Biegelinie (Textfig. 243 c) proportional. Für $\beta = 1$ (Textfig. 243 a) wird $C = P$, mithin allgemein:

$$C = P \frac{z}{c} \quad (\text{Textfig. 243 c}) \quad \dots \dots \dots 66.$$

Die Ordinaten z (Textfig. 243 c) berechnet man für den Kurvenzweig $AD'C'$ (d. i. für $\beta \leq 1$) aus der Gleichung:

$$z = \frac{1}{2\nu} [\xi(1 + 2\nu) - \xi^3] c \quad \dots \dots \dots 67^a, 29)$$

für den Kurvenzweig $C'B$ (d. i. für $\beta \geq 1$) aus

$$z = \frac{1}{2\nu^2} [\xi^3 - 3(\nu + 1)\xi^2 + (2\nu^2 + 4\nu + 3)\xi - (1 + \nu)] c \quad \dots \dots \dots 67^b.$$

Für $c = 1$ wird $z = \eta_c$ und Gleichung 66 liefert unmittelbar die Einflußfläche für den Stützdruck C der Zwischenstütze. Mithin wird

$$C = P\eta_c \quad (\text{Textfig. 243 d}) \quad \dots \dots \dots 68.$$

wobei die η_c durch die Gleichungen 67^{a, b} schon bestimmt sind.

2. Durch Ziehen der Geraden $BC'A'$ (Textfig. 243 c) erhält man die Einflußfläche für den Stützdruck A . Es ist nach Textfig. 243 c

$$A = P \frac{z'}{a} = P \left[1 - \frac{1}{1 + \nu} \xi - \frac{1}{a} \eta_c \right] = \pm P\eta_a \quad (\text{Textfig. 243 d}) \quad \dots 69.$$

gültig für alle Laststellungen von $\xi = 0$ bis $\xi = 1 + \nu$.

3. In gleicher Weise erhält man durch Ziehen der Geraden $AC'B'$ (Textfig. 243 c) die Einflußfläche für den Stützdruck B aus der Gleichung

$$B = P \frac{z'}{b} = P \left[\xi \frac{1}{1 + \nu} - \frac{1}{b} \eta_c \right] = \mp P\eta_b \quad (\text{Textfig. 243 d}) \quad \dots \dots \dots 70.$$

4. Die Einflußfläche für die Querkraft Q_x im Querschnitt D (Textfig. 243 a) ist gegeben durch Textfig. 243 e, denn für $\beta < \xi$ ist

$$Q_x = A - P = P(\eta_a - 1) = (-) \quad \dots \dots \dots 71^a.$$

und für $\beta > \xi$ ist

$$Q_x = A = P\eta_a = (+) \quad \dots \dots \dots 71^b.$$

(Textfig. 243 e), wobei die Ordinaten η_a der Gleichung 69 entnommen werden können.

5. Die Fläche aus dem Unterschied der Ordinaten ($z + z'$) des Dreieckes $AD''B$ (Textfig. 243 c) und der z der Biegelinie $AD'C'B$ ist proportional der Einflußfläche für das Biegemoment M_x im Querschnitt D (Textfig. 243 a). Mithin erhält man deren Einflußfläche für alle Laststellungen zwischen D und B (Textfig. 243 a) aus:

$$M_x = Ax = P \frac{xz'}{a} = (Pl)\xi\eta_a = (Pl)\eta \quad \dots \dots \dots 72^a.$$

und für alle Laststellungen zwischen A und D (Textfig. 243 a) aus:

$$M_x = Ax - P(x - p) = (Pl)[\beta - \xi(1 - \eta_a)] = (Pl)\eta \quad (\text{Textfig. 243 f}) \quad \dots 72^b.$$

(die η_a aus Gleichung 69).

6. Rückt der Querschnitt D nach C (Textfig. 243 a), so erhält man die Einflußfläche für das Biegemoment M_c an der Zwischenstütze für alle Laststellungen zwischen A und C aus:

$$M_c = (Pl) \frac{z - \frac{x}{l} c}{a} = (Pl)[\eta_c - \xi] \frac{\nu}{1 + \nu} = - (Pl)\eta \quad (\text{Textfig. 243 g}) \quad \dots 73^a.$$

²⁹⁾ Fortschrittsheft, S. 112; Gleichung 21.

und für alle Laststellungen zwischen *C* und *B* aus:

$$M_c = (Pl) [\eta_c - \xi'] \frac{\nu}{1 + \nu} = - (Pl) \eta \quad (\text{Textfig. 243 g}) \dots \dots \dots 73^b.$$

wobei $x' = \xi' l' = \xi' \nu l$ sich auf das Auflager *B* bezieht. Diese Einflußfläche kann durch die auf ganz anderem Wege gefundene Gleichung 62 geprüft werden.

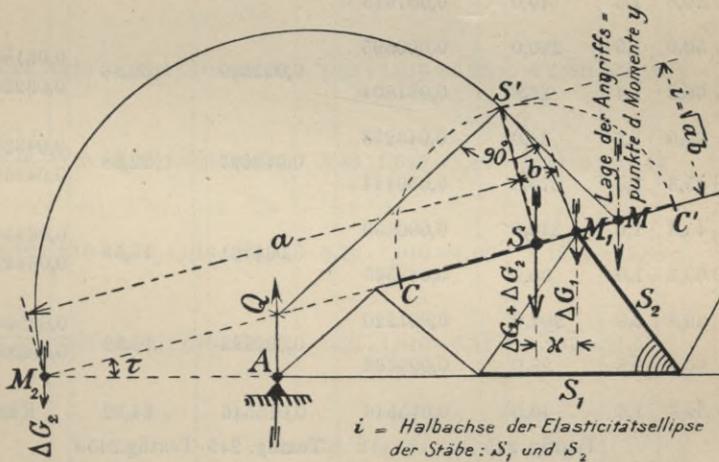
B. Bei gleich hohen Stützen und veränderlichem Trägheitsmoment können alle Einflußlinien ebenfalls in der unter A. c) (S. 280) gezeigten Weise abgeleitet werden. Nur der Verlauf der Biegungslinie selbst bedarf einer besonderen Feststellung mit entsprechender Berücksichtigung der Veränderlichkeit der Trägerquerschnitte im vollwandigen Träger bzw. der Stabquerschnitte im gegliederten Fachwerksträger (s. §§ 61 bis 69). Bei mittelbarer Belastung (Lastübertragung ausschließlich an den Querträgeranschlusppunkten, bzw. Knotenpunkten bei Fachwerkträgern) hat man selbstverständlich beim Auftragen der Einflußlinien diesem Umstand in der bekannten Weise Rechnung zu tragen.

§ 13. Bestimmung der Biegungslinien. Auf die mannigfachen Bestimmungsarten der Biegungslinien hier näher einzugehen verbietet der verfügbare Raum, die notwendigen Angaben enthält der Litteraturnachweis.

A. Bei vollwandigen Trägern mit veränderlichem *J* empfiehlt sich der in den §§ 65 b) u. 67 gezeigte Weg.

B. Für Fachwerksträger zweckmäÙig und genau erweist sich nachstehend gezeigte, gemischt rechnerisch-graphische Methode, welche die Maschinenbaugesellschaft Nürnberg (Werk Gustavsburg) bei der Drehbrücke NeuhoF (§ 85) zur Anwendung brachte. Deren eingehendere Begründung siehe Litteraturnachweis 41 des Anhangs.

Fig. 244.



In gleichartiger Weise wie auf S. 279 wird für den in Textfig. 245 b dargestellten Belastungsfall die Biegungslinie folgendermaßen bestimmt: Die Biegungslinie ist ein Seilpolygon, konstruiert mit den Momentenordinaten der Momentenfläche (Textfig. 245 b) als Kräften und den Polabständen

$$w_x = \frac{E}{G_x} = \frac{EF_x h_x^2}{s_x} \dots \dots \dots 74.$$

wenn $G_x = \frac{s_x}{F_x h_x^2}$ das elastische Gewicht des Stabes S_x bezeichnet, sowie s_x dessen Länge, F_x dessen Querschnittsfläche, h_x dessen Hebelarmabstand vom zugehörigen Momentenpunkt und E die Elastizitätsziffer. Die elastischen Gewichte zweier Stäbe (eines Gurt- und eines Ausfüllstabes S_1 und S_2 (Textfig. 244) werden jeweilig vereinigt und deren Schwerpunkt S gesucht; dessen Abstand vom Hauptgewicht (Gurtungsstab) ist in Textfig. 244 mit x bezeichnet. Senkrecht unter S (vergl. auch Textfig. 245 a) werden die Momentenordinaten y (Textfig. 245 b) entnommen. Die Angriffspunkte der Momente y liegen in den Antipolen der Elastizitätsellipsen, deren Halbachsen gegeben sind durch

$$i = \sqrt{ab} \dots \dots \dots 75^a.$$

wobei a und b die in Textfig. 244 bestimmten Längenabmessungen bedeuten. Die Antipole beziehen sich auf die Lage der Querkraft, die für den vorliegenden Belastungsfall an den Auflagern *A* bzw. *B*

Tabelle A.

Spalte	St a b	Elastisch gebundene Stäbe	Stablänge s = dm	Stabquerschnitt F = qdm	Hebelarm d = dm	Elastisches Gewicht $\Delta G = \frac{s}{F d^2}$	$\Sigma \Delta G = \Delta G_1 + \Delta G_2$	Polabstand $w = \frac{1}{\Sigma \Delta G}$	Schwerpunktslage S $x' = \frac{\Delta G_2}{\Sigma \Delta G} g_2$ und $g_2 = (a + b) \cos \tau = x + x' = dm$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	
a	A—I	1	39,8	1,4	40,0	0,017768	0,017768	56,28	Knotenpunkt (2)
b	A—2	2	60,0	1,0	28,0*	0,07653	0,07982	12,53	$\frac{0,07653}{0,07982} \cdot 140 = 134,23$
c	I—2	3	39,8	1,0	110,0	0,003289	0,041713	23,98	$\frac{0,039724}{0,041713} \cdot 170 = 161,89$
d	I—IV	4	61,3	1,4	33,2	0,039724	0,015625	64,00	Punkt (IV) und ∞^3
e	2—IV	5	50,0	1,4	134,0	0,001989	0,007813	127,99	Punkt (IV) und ∞^3
f	2—C	6	40,0	1,6	40,0	0,015625	0,032399	30,86	$\frac{0,031804}{0,032399} \cdot 370 = 363,19$
g	IV—C	7	41,2	0,8 ³⁾	∞	0	0,043697	22,88	$\frac{0,043253}{0,043697} \cdot 340 = 336,54$
g	IV—C	8	41,2	0,8 ³⁾	∞	0	0,064421	15,53	$\frac{0,063565}{0,064421} \cdot 310 = 305,88$
h	5—C	9	20,0	1,6	40,0	0,007813	0,096883	10,32	$\frac{0,095663}{0,096883} \cdot 280 = 276,47$
i	IV—5	10	50,0	1,0	290,0	0,000595	0,015546	64,32	Knotenpunkt (7)
k	IV—VI		60,3	1,4	36,8	0,031804			
l	5—7		60,0	1,2	34,0	0,043253			
m	5—VI		45,3	1,4	270,0	0,000444			
n	VI—7		45,3	1,0	230,0	0,000856			
o	VI—VIII		60,3	1,0	30,8	0,063565			
p	7—VIII		39,8	0,8	202,0	0,001220			
q	7—B		60,0	0,8	28,0	0,095663			
r	VIII—B		39,8	1,6	40,0	0,015546			

(Textfig. 245 b) angreift. Die Angriffspunkte M (Textfig. 244) der Momente y werden durch eine Konstruktion mit rechtem Winkel gefunden (Textfig. 244 und 245 a u. b). Ist ein Gurtstab mit einem Ausfüllstab, dessen Momentenpunkt in unendlicher Entfernung gelegen (Ausfüllstab zwischen parallelen Gurtungen), zu vereinigen, so findet sich die Ellipsenhalbachse aus

$$i = \sqrt{\frac{s_2^3 F_1^{30})}{s_1 F_2}} \dots \dots \dots 75^b.$$

wenn s_1 und F_1 die Stablänge und Querschnittsfläche des Gurtstabes, s_2 und F_2 die des Ausfüllstabes bezeichnen (Textfig. 244). Der einzuschlagende Rechnungsgang ist für den in Textfig. 245 a dargestellten Fachwerksträger aus der obenstehenden tabellarischen Zusammenstellung ersichtlich. Die Einbiegungslinie für eine in C (Textfig. 245 b) befindliche Einzellast kann nach dem Maxwell'schen Satz auch als Einflußkurve für den in C (Textfig. 245 a) auftretenden Stützdruck aufgefaßt werden. Wird letzterer gleich der Kräfteinheit gewählt, so erhält man durch entsprechende Reduktion der Kurvenordinaten die Einfluß-

³⁰⁾ W. Ritter. Anwendungen der graphischen Statik, II. Teil 1890, S. 124.

Tabelle A.

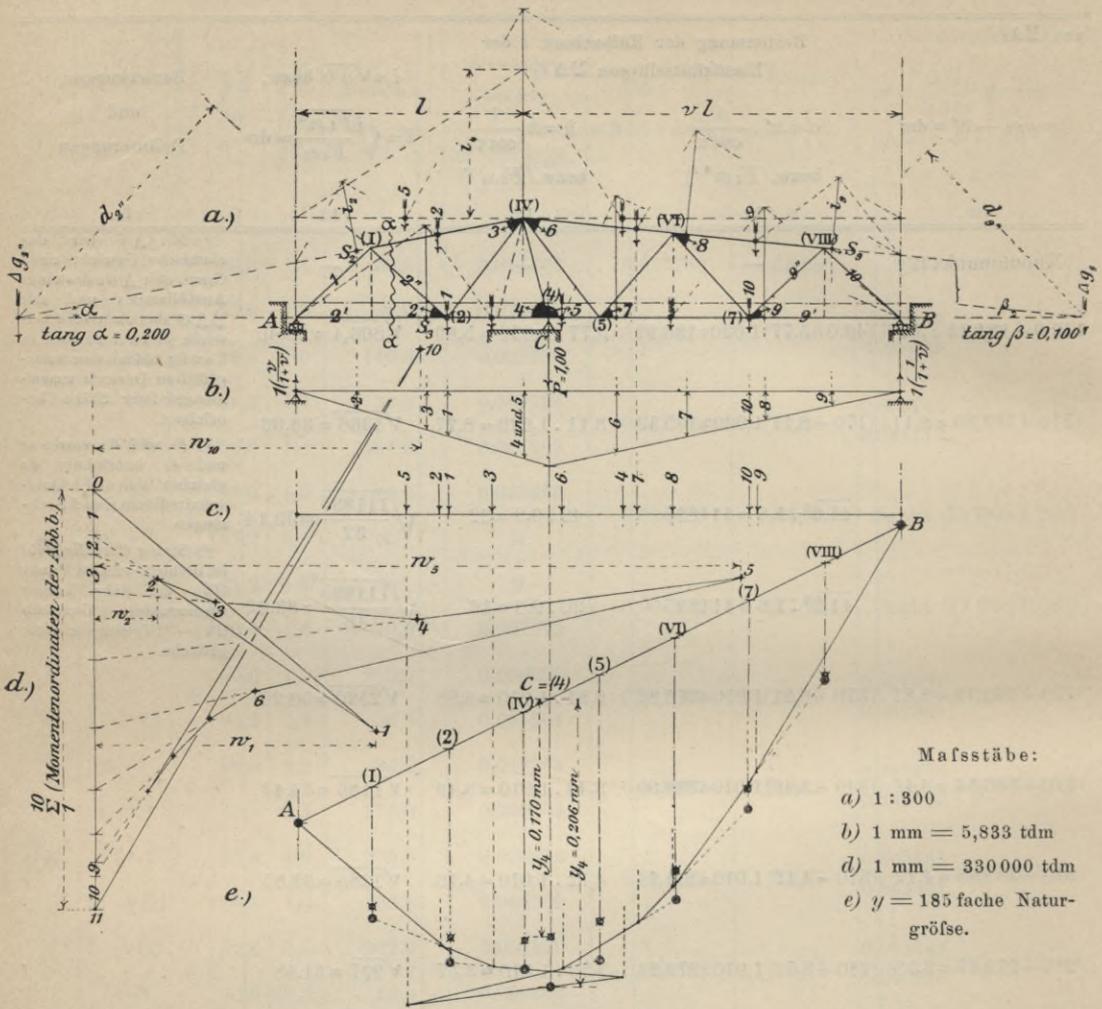
von $\Sigma \Delta G$	Bestimmung der Halbachsen i der Elastizitätsellipsen $\Sigma \Delta G$		$i = \sqrt{ab}$ bzw. $i = \sqrt{\frac{F_1 s_2^3}{F_2 s_1}} = dm$	Bemerkungen und Erläuterungen
$x = g_2 - x' = dm$	$a = x' \cdot \frac{1}{\cos \tau}$ bzw. $F_1 s_2^3$)	$b = x \cdot \frac{1}{\cos \tau}$ bzw. $F_2 s_1$)		
10	11	12	13	14
Knotenpunkt (2)	—	—	—	¹⁾ Mit ΔG_1 wird das elastische Gewicht eines Gurt-, mit ΔG_2 des eines Ausfüllstabes und mit $\Sigma \Delta G$ das elastische Gewicht je zwei solcher im Textfig. 244 mit einem ausgefüllten Dreieck zusammengefaßter Stäbe bezeichnet.
140,0 - 134,23 = 5,77	(40,0 - 5,77)1,020 = 136,91	5,77 · 1,020 = 5,89	$\sqrt{806,4} = 28,40$	²⁾ F_1 und F_2 , sowie s_1 und s_2 bezeichnen in gleicher Weise die Querschnittsflächen und Stablängen.
170 - 161,89 = 8,11	(170 - 8,11)1,020 = 165,13	8,11 · 1,020 = 8,27	$\sqrt{1366} = 36,96$	³⁾ Stab g (Textfig. 245) ist halbiert und im Punkt (IV) ein sehr kurzer wagerechter Gurtstab (IV) - (IV) eingeschaltet gedacht.
0	$41,2^3 \cdot 1,6 = 111895$	40 · 0,8 = 32	$\sqrt{\frac{111895}{32}} = 59,14$	
0	$41,2^3 \cdot 1,6 = 111895$	20 · 0,8 = 16	$\sqrt{\frac{111895}{16}} = 83,62$	
370 - 363,19 = 6,81	(370 - 6,81)1,010 = 366,82	6,81 · 1,010 = 6,88	$\sqrt{2520} = 50,20$	
340 - 336,54 = 3,46	(340 - 3,46)1,010 = 339,90	3,46 · 1,010 = 3,49	$\sqrt{1186} = 34,44$	
310 - 305,88 = 4,12	(310 - 4,12)1,010 = 308,94	4,12 · 1,010 = 4,16	$\sqrt{1285} = 35,85$	
280 - 276,47 = 3,53	(280 - 3,53)1,010 = 279,23	3,53 · 1,010 = 3,57	$\sqrt{997} = 31,58$	
Knotenpunkt (7)	—	—	—	Vergl. hierzu auch Textfig. 244.

fläche für den Stützdruck C wie folgt: Für den in Textfig. 245 b dargestellten Belastungsfall wird das Biegemoment: $M_c = 1 \cdot \frac{v}{1+v} l = tdm$; oder, da $l = 100 dm$, $v = 1,40$ ist, $M_c = 58,333 tdm$. Hierfür wurden 10 mm aufgetragen, also 1 mm = 5,833 tdm gewählt. Nach obiger Tabelle A. ist für die elastisch gebundenen Stäbe 2 (Tabelle A, Spalte b und c) $w_2 = E \cdot \frac{1}{\Sigma \Delta G} = 220000 \cdot 12,53 = 2756600 tdm$, wenn E die Elastizitätsziffer bezeichnet. Hierfür wurden 8,333 ... mm aufgetragen, also ist 1 mm = $\frac{2756600}{8,33} = 330000 tdm$. Der Verzerrungsmaßstab ist demnach $\xi = \frac{330000}{5,833} = 56575$; oder für den Längenmaßstab = 1:300, schließlich: $\xi' = \frac{56575}{300} = 185$. Mithin findet sich für den Belastungsfall (Textfig. 245 b) die Einsenkung $y_4 = \frac{38,3}{185} = 0,207 mm$. (In Textfig. 245 e ist irrtümlich 0,206 eingeschrieben.)

Handelt es sich bloß um die Bestimmung der statischen Größen (Momente und Querkräfte), so kann die Formänderung der Ausfüllstäbe meist unberücksichtigt bleiben³¹⁾, wodurch sich die Er-

³¹⁾ Fortschrittsheft S. 124.

Fig. 245.



mittlung der Biegungslinie (Textfig. 245 e) vereinfacht. Die für diese Annahme sich ergebenden Senkungen der Knotenpunkte sind in der Textfig. 245 e durch mit Kreuzen versehene Kreise dargestellt. Die eben gezeigte Methode gestattet auch den Beitrag der Gurt- und Ausfüllstäbe zu den Gesamtdurchbiegungen verhältnismäßig rasch zu ermitteln. Im vorstehenden Beispiel tragen die Formänderungen der Gurtstäbe 82,5, die der Ausfüllstäbe 17,5% zur Gesamteinbiegung y_4 bei.

§ 14. Hebung oder Senkung der Zwischenstütze. Die Achse des nicht gebogenen Balkens ist geradlinig vorausgesetzt.

A. Unveränderliches Trägheitsmoment. Gleichung 34 gibt, da nun $s_1 = s_3$ (Textfig. 237) zu setzen ist und für eine Hebung oder Senkung $s_2 > s_1$ wird, das Stützenmoment aus der Gleichung

$$M_2 = M_c \text{ (Textfig. 243 a)} = \frac{3 EJ (s_1 - s_2)}{vl^2} = \mp \frac{3 EJ}{vl^2} \Delta s \quad \dots \quad 76.$$

wenn $\Delta s = s_1 - s_2$ gesetzt wird. Dem entsprechen nach Textfig. 243 a die Auflagerkräfte:

$$A = \mp \frac{M_c}{l} \quad \dots \quad 77^a.$$

und

$$B = \mp \frac{M_c}{vl} \quad \dots \quad 77^b.$$

woraus sich die Momente und Querkräfte an jedem Trägerquerschnitt unmittelbar angeben lassen. Weil ferner $A + B + C = 0$ sein muß, findet sich die Gleichung:

$$C = \pm \frac{3 EJ}{l^3} \left(\frac{1 + \nu}{\nu^2} \right) \Delta s \dots \dots \dots 78.$$

wobei für eine Hebung der Mittelstütze um den Betrag Δs das obere Vorzeichen zu nehmen ist. Jeder Hebung der Mittelstütze entspricht demnach eine Mehrbelastung derselben und umgekehrt (vergl. auch Fortschrittsheft, S. 113).

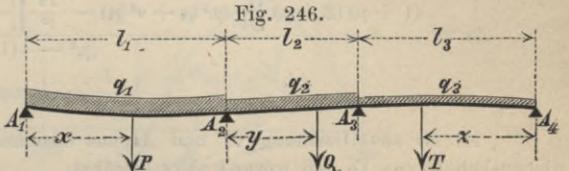
B. Veränderliches Trägheitsmoment. Gleichung 34 gibt

$$M_C = \left[E(s_1 - s_2) \frac{1 + \nu}{\nu} \cdot \frac{1}{l^2} - \left\{ \int_0^1 \frac{M \xi d\xi}{J} + \nu \int_0^1 \frac{M \xi' d\xi'}{J} \right\} \right] : \left[\int_0^1 \frac{d\xi}{J} + \nu \int_0^1 \frac{d\xi'}{J} \right] \dots \dots 79.$$

Die Integrationen lassen sich bei sprungweise veränderlichem Trägheitsmoment nach den Gleichungen 39 und 40, bei stetig veränderlichem Trägheitsmoment nach den Gleichungen 41 und 42 durchführen (siehe auch Fortschrittsheft S. 120 bis 129 und Litt. 1, 14, 38, 59 u. 68 des Anhangs).

IV. Homogener durchlaufender Balken mit drei Feldern auf festen Stützen.

§ 15. Einzellasten. Das Trägheitsmoment J wird unveränderlich vorausgesetzt. Da $M_1 = M_4 = 0$, so ist nach Gleichung 6 und Textfig. 246, wenn man $l_1 = l$; $l_2 = \mu l$ und $l_3 = \nu l$, sowie $x = \xi l$; $y = \omega \cdot \mu \cdot l$ und $z = \zeta \nu l$ setzt:



$$2 M_2 l(1 + \nu) + M_3 \cdot \nu l = Y_1 - l^2 \Sigma P (\xi - \xi^3) - \mu^2 l^2 \Sigma Q (2\omega - 3\omega^2 + \omega^3)$$

$$M_2 \cdot \mu l + 2 M_3 (\mu + \nu) l = Y_2 - \mu^2 l^2 \Sigma Q (\omega - \omega^3) - \nu^2 l^2 \Sigma T (2\zeta - 3\zeta^2 + \zeta^3)$$

oder

$$2 M_2 (1 + \nu) + M_3 \nu = \frac{Y_1}{l} - l \Sigma P \cdot \eta - \mu^2 l \Sigma Q \eta' \dots \dots \dots 80.$$

$$M_2 \cdot \mu + 2 M_3 (\mu + \nu) = \frac{Y_2}{l} - \mu^2 l \Sigma \eta - \nu^2 l \Sigma T \eta' \dots \dots \dots 81.$$

wobei die Werte für η und η' unmittelbar der Textfig. 242 (S. 278) entnommen werden können und zur Abkürzung gesetzt wird:

$$\frac{6 EJ}{l} \left[(s_1 - s_2) + \frac{s_3 - s_2}{\mu} \right] = Y_1 \dots \dots \dots 82.$$

$$\frac{6 EJ}{l} \left[\frac{s_2 - s_3}{\mu} + \frac{s_4 - s_3}{\nu} \right] = Y_2 \dots \dots \dots 83.$$

Bestimmt man hieraus M_2 und M_3 , ferner mit Hilfe von Gleichung 9 und 10 die Q' und Q'' für alle Felder, so erhält man schliesslich nach Gleichung 11, wenn zur Abkürzung:

$$K = - Y_1 + l^2 \Sigma P (\xi - \xi^3) + \mu^2 l^2 \Sigma Q (2\omega - 3\omega^2 + \omega^3) = - Y_1 + l^2 \Sigma P \eta + \mu^2 l^2 \Sigma Q \eta'$$

$$L = - Y_2 + \mu^2 l^2 \Sigma Q (\omega - \omega^3) + \nu^2 l^2 \Sigma T (2\zeta - 3\zeta^2 + \zeta^3) = - Y_2 + \mu^2 l^2 \Sigma Q \eta + \nu^2 l^2 \Sigma T \eta'$$

$$N = l^2 [\nu^2 - 4(1 + \nu)(\nu + \mu)]$$

eingeführt wird:

$$A_1 = \frac{2(\mu + \nu)K - \mu L}{N} + \Sigma P(1 - \xi) \dots \dots \dots 84.$$

$$A_2 = \frac{(2 + \mu)(1 + \mu)L - [2(1 + \mu)(\mu + \nu) + \mu]K}{\mu N} + \Sigma P \xi + \Sigma Q(1 - \omega) \dots \dots \dots 85.$$

$$A_3 = \frac{(2\nu + \mu)(\nu + \mu)K - [2(\nu + \mu)(\mu + 1) + \mu\nu]L}{\mu \nu N} + \Sigma Q \omega + \Sigma T(1 - \zeta) \dots \dots \dots 86.$$

$$A_4 = \frac{2(\mu + 1)L - \mu K}{\nu N} + \Sigma T \zeta \dots \dots \dots 87.$$

Für den besonderen Fall gleich hoher Stützen und gleich grosser Außenöffnungen ist $Y_1 = Y_2 = 0$ und $l_1 = l_3 = l$. Setzt man ferner $l_2 = \mu l$, $x = \xi l$, $y = \omega \mu l$, $z = \zeta \nu l$, so gestalten sich Gleichung 84 bis 87 wie folgt:

$$A_1 = \Sigma P(1 - \xi) \left\{ 1 - \frac{2\xi(1 + \mu)(1 + \xi)}{3\mu^2 + 8\mu + 4} \right\} - \Sigma Q \omega \mu^2 (1 - \omega) \frac{(4 + 3\mu) - \omega(2 + 3\mu)}{3\mu^2 + 8\mu + 4}$$

$$+ \Sigma T(1 - \zeta) \frac{\mu \zeta (1 + \zeta)}{3\mu^2 + 8\mu + 4} \dots \dots \dots 88.$$

$$A_2 = \Sigma P \xi \left\{ 1 + \frac{(2 + 5\mu + 2\mu^2)(1 - \xi^2)}{\mu(3\mu^2 + 8\mu + 4)} \right\} + \Sigma Q(\omega - \omega^2) \cdot \mu \left\{ \frac{(2 + 7\mu + 3\mu^2)}{3\mu^2 + 8\mu + 4} - \omega \right\} \\ + \Sigma Q(1 - \omega) - \Sigma T \zeta \frac{(2 + 3\mu + \mu^2)(1 - \zeta^2)}{\mu(3\mu^2 + 8\mu + 4)} \dots \dots \dots 89.$$

A_3 wird aus Gleichung 89 und A_4 aus Gleichung 88 durch gegenseitiges Vertauschen von P mit T , ξ mit ζ und $\omega\mu$ mit $\mu(1 - \omega)$ erhalten.

§ 16. Gleichförmige Belastung. Nach Gl. 6 und Textfig. 238 hat man:

$$2M_2(1 + \mu) + M_3 \cdot \mu = \frac{Y_1}{l} - \frac{l^2}{4} [q_1 + \mu^3 q_2] \\ M_3 \cdot \mu + 2M_3(\mu + \nu) = \frac{Y_2}{l} - \frac{l^2}{4} [\mu^3 q_2 + \nu^3 q_3]$$

hieraus M_2 und M_3 und dann mit Hilfe der Gleichung 11 bis 13:

$$A_1 = \frac{2(\mu + \nu) \left[-\frac{Y_1}{l^2} + \frac{l}{4} (q_1 + \mu^3 q_2) \right] - \mu \left[-\frac{Y_2}{l^2} + \frac{l}{4} (\mu^3 q_2 + \nu^3 q_3) \right]}{\mu^2 - 4(1 + \mu)(\mu + \nu)} + \frac{1}{2} q_1 l \dots \dots \dots 90.$$

$$A_2 = \frac{(1 + \mu)(2 + \mu) \left[\frac{l}{4} (\mu^3 q_2 + \nu^3 q_3) - \frac{Y_2}{l^2} \right] - [\mu + 2(1 + \mu)(\mu + \nu)] \left[\frac{l}{4} (q_1 + \mu^3 q_2) - \frac{Y_1}{l^2} \right]}{[\mu^2 - 4(1 + \mu)(\mu + \nu)]\mu} + \frac{l}{2} [q_1 + \mu q_2] \dots \dots \dots 91.$$

A_3 ist aus Gleichung 91 und A_4 aus Gleichung 90 zu erhalten, wenn man für l_1, q_1, Y_1 beziehentlich l_3, q_3, Y_2 und umgekehrt einführt.

Im Sonderfall gleich großer und gleich belasteter Aufsenfelder wird bei gleich hohen Stützen $l_1 = l_3 = l; l_2 = \mu l; q_1 = q_3 = q; Y_1 = Y_2 = 0$, also:

$$A_1 = A_4 = \frac{l}{4(3\mu + 2)} [3(2\mu + 1)q - \mu^3 \cdot q_2] \dots \dots \dots 92.$$

$$A_2 = A_3 = \frac{l}{4(3\mu + 2)} [(6\mu + 5)q + \mu(\mu^2 + 6\mu + 4)q_2] \dots \dots \dots 93.$$

Ist schliesslich $l_1 = l_2 = l_3 = l$ und $q_1 = q_2 = q_3 = q$, so erhält man:

$$A_1 = A_4 = \frac{4}{10} q l \dots \dots \dots 94.$$

$$A_2 = A_3 = \frac{11}{10} q l \dots \dots \dots 95.$$

Für den Sonderfall gleich hoher Stützen findet man die beiden Zwischenstützenmomente (Textfig. 246, S. 285):

$$M_2 = -\frac{l^2}{4} \cdot \frac{2(\mu + \nu)q_1 + \mu^3(\mu + 2\nu)q_2 - \mu\nu^3 \cdot q_3}{4(1 + \mu)(\mu + \nu) - \mu^2} \dots \dots \dots 96.$$

$$M_3 = -\frac{l^2}{4} \left[\frac{q_1}{\mu} + \mu^2 q_2 \right] - M_2 \frac{2(1 + \mu)}{\mu} \dots \dots \dots 97.$$

Kann überdies (für das Eigengewicht) $q_1 = q_2 = q_3 = g$ gesetzt werden, so vereinfachen sich die Gleichungen 96 und 97 in:

$$M_2 = M_B \text{ (Textfig. 247 } b = \overline{BB'})} = -\frac{gl^2}{4} \cdot \frac{2(\mu + \nu) + \mu^3(\mu + 2\nu) - \mu\nu^3}{4(1 + \mu)(\mu + \nu) - \mu^2} = -\frac{gl^2}{4} K \dots \dots \dots 98.$$

$$M_3 = M_C \text{ (Textfig. 247 } b = \overline{CC'})} = -\frac{gl^2}{4} [(1 + \mu^3) - K \cdot 2(1 + \mu)] \frac{1}{\mu} = -\frac{gl^2}{4} K' \dots \dots \dots 99.$$

Der Verlauf der Momentenkurve $AMB'M'C'M''D$ (Textfig. 247 b) läßt sich aus nachstehender Gleichungsfolge berechnen:

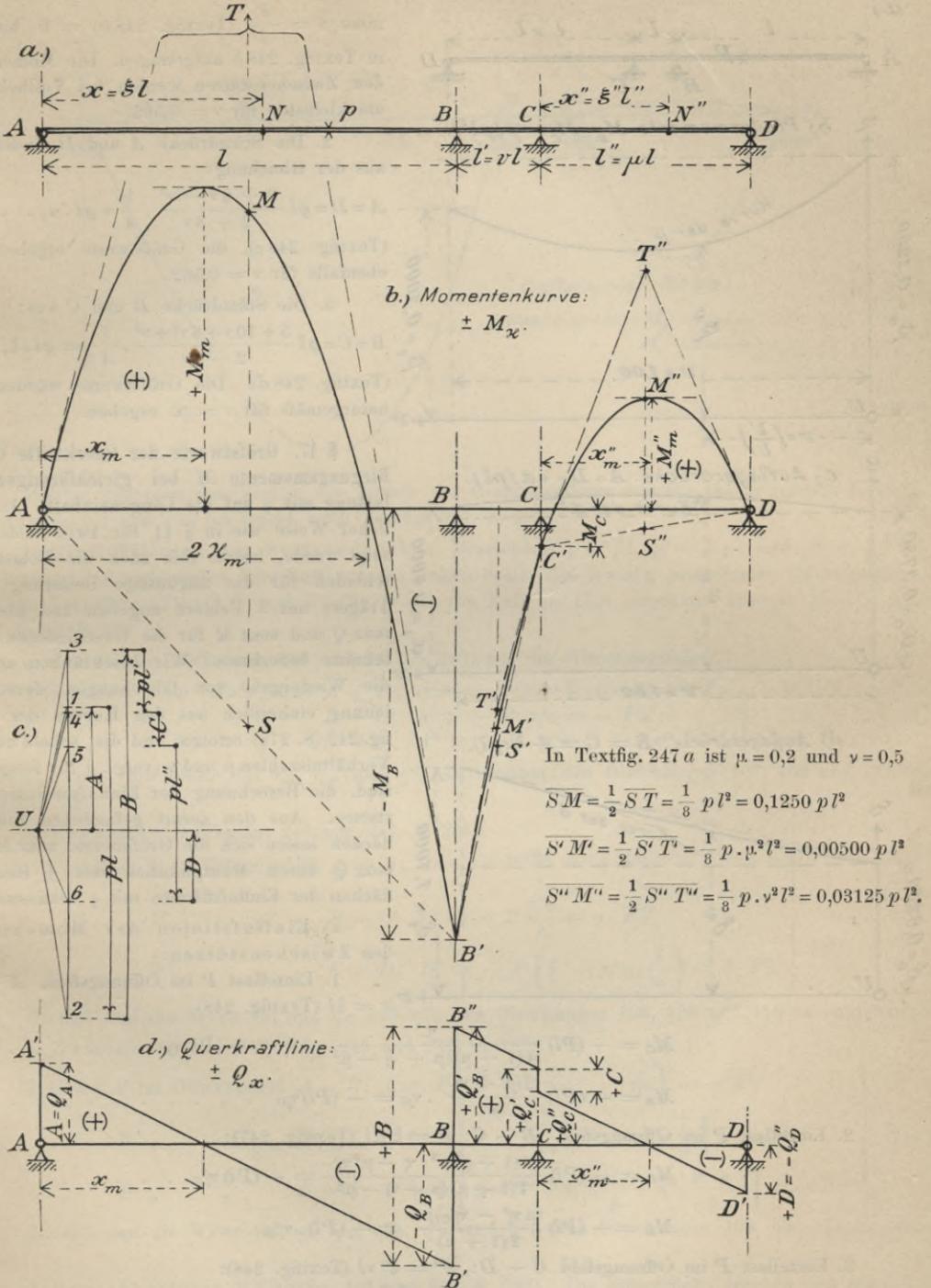
$$1. \text{ Öffnungsfeld } A - B: M_x = \frac{gl^2}{2} (\xi - \xi^2) + M_B \xi \dots \dots \dots 100.$$

$$2. \text{ Öffnungsfeld } B - C: M_x' = \frac{gl^2}{2} (\xi' - \xi'^2)\mu^2 + M_B(1 - \xi') + M_C \xi' \dots \dots \dots 101.$$

$$3. \text{ Öffnungsfeld } C - D: M_x'' = \frac{gl^2}{2} (\xi'' - \xi''^2)\nu^2 + M_C(1 - \xi'') \dots \dots \dots 102.$$

Die Bestimmung der Querkräfte und Stützdrücke erfolgt nun nach § 4 (vergl. auch Textfig. 247 d).

Fig. 247.

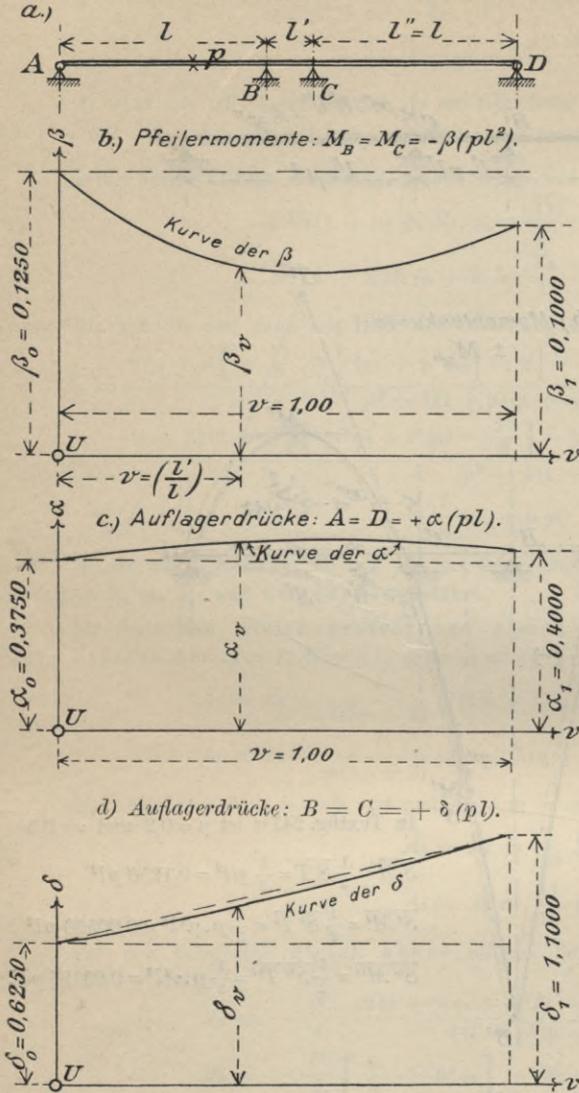


In Fig. 247 a sind die Buchstaben ν und μ zu vertauschen.

Für den Sonderfall gleich hoher Stützen und gleicher Außenöffnungen wird, wenn man $l = l''$ und $l' = \nu l$ setzt (Textfig. 247 a), für $q_1 = q_2 = q_3 = g$:

1.
$$M_B = M_C = -g l^2 \frac{1 + \nu^3}{4(2 + 3\nu)} = -g l^2 \cdot \beta_\nu \dots \dots \dots 103.$$

Fig. 248.



Die Kurve der β_ν ist für alle Verhältnisse $\nu = \frac{l'}{l}$ (Textfig. 248 a) = 0 bis 1,00 in Textfig. 248 b aufgetragen. Die Momente an den Zwischenstützen werden bei Vollbelastung am kleinsten für $\nu = 0,562$.

2. Die Stützdrücke A und D findet man aus der Gleichung:

$$A = D = gl \frac{3 + 6\nu - \nu^3}{2 + 3\nu} \cdot \frac{1}{4} = gl \cdot \alpha_\nu \quad . \quad 104.$$

(Textfig. 248 c), die Größtwerte ergeben sich ebenfalls für $\nu = 0,562$.

3. Die Stützdrücke B und C aus:

$$B = C = gl \frac{5 + 10\nu + 6\nu^2 + \nu^3}{2 + 3\nu} \cdot \frac{1}{4} = gl \cdot \delta_\nu \quad 105.$$

(Textfig. 248 d). Die Größtwerte würden sich naturgemäß für $\nu = \infty$ ergeben.

§ 17. Größtwerte der Querkräfte Q und Biegemomente M bei gleichförmiger Belastung mit q auf die Längeneinheit. In ähnlicher Weise wie in § 11 für zwei Felder gezeigt wurde, lassen sich auch die Belastungsscheiden für die ungünstige Belastung eines Trägers mit 3 Feldern angeben und hiernach *max Q* und *max M* für die verschiedenen Querschnitte berechnen. Wir beschränken uns auf die Wiedergabe von Gleichungen, deren Ableitung einheitlich aus den Kurven der Textfig. 242 (S. 278) erfolgte und die, sobald nur die Verhältniszahlen μ und ν (vergl. § 15) festgesetzt sind, die Berechnung der Einflußordinaten gestatten. Aus den derart gefundenen Einflußflächen lassen sich die Größtwerte *max M* und *max Q* durch Multiplikation der \pm Beitragsflächen der Einflußflächen mit *q* bestimmen.

a) Einflußlinien der Momente an den Zwischenstützen:

1. Einzellast P im Öffnungsfeld A - B: $x = \xi l$ (Textfig. 248)

$$M_C = + (Pl) \frac{\mu}{4(1 + \mu)(\mu + \nu) - \mu^2} \cdot \eta = + (Pl) \eta_C \quad . \quad 106.$$

$$M_B = - (Pl) \frac{2(\mu + \nu)}{\mu} \cdot \eta_C = - (Pl) \eta_B \quad . \quad 107.$$

2. Einzellast P im Öffnungsfeld B - C: $x' = \xi' \mu l$ (Textfig. 247):

$$M_C = - (Pl) \frac{2(1 + \mu)\mu^2 \cdot \eta - \mu^3 \eta'}{4(1 + \mu)(\mu + \nu) - \mu^2} = - (Pl) \eta'_C \quad . \quad 108.$$

$$M_B = - (Pl) \frac{(\mu \eta' - \eta'_C)\mu}{2(1 + \mu)} = - (Pl) \cdot \eta'_B \quad . \quad 109.$$

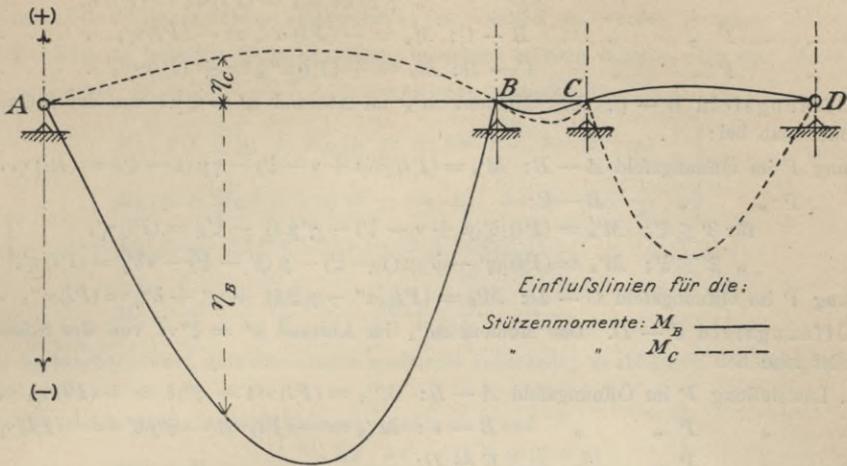
3. Einzellast P im Öffnungsfeld C - D: $x'' = \xi'' \nu l$ (Textfig. 248):

$$M_C = - (Pl) \frac{2(1 + \mu)\nu^2}{4(1 + \mu)(\mu + \nu) - \mu^2} \eta' = - (Pl) \eta''_C \quad . \quad 110.$$

$$M_B = + (Pl) \frac{\mu}{2(1 + \mu)} \eta''_C = + (Pl) \eta''_B \quad . \quad 111.$$

Für die Gleichungsfolge 106 bis 110 können die Ordinaten η und η' unmittelbar der Textfig. 242 (S. 278) entnommen werden.

Fig. 249.



Textfig. 249 zeigt den Verlauf der mittels der Gleichungsfolge 106 bis 111 erhaltenen Einflußlinie für $\mu = 0,2$ und $\nu = 0,5$ (vergl. auch Textfig. 247, S. 287).

b) Einflußlinien der Stützendrücke. Bezeichnen $p = \beta l$, $p' = \beta' \mu l$ und $p'' = \beta'' \nu l$ die Abstände der wandernden Einzellast von der linken Stütze des jeweilig betrachteten Öffnungsfeldes, wobei die Verhältniszahlen β , β' und β'' alle Werte von Null bis Eins annehmen können, so läßt sich die Einflußlinie der

α. Endstütze A (Textfig. 249 und 247, S. 287) aus der Gleichungsfolge:

$$\left. \begin{array}{l} \text{Einzellast } P \text{ im Öffnungsfeld } A - B: A = + P(1 - \beta - \eta_B) = + P\alpha \\ \text{'' } P \text{ '' '' } B - C: A' = - P \cdot \eta'_B = - P\alpha' \\ \text{'' } P \text{ '' '' } C - D: A'' = + P \cdot \eta''_B = + P\alpha'' \end{array} \right\} \dots \dots 112.$$

berechnen, wobei die Werte für η_B , η'_B und η''_B unmittelbar den Gleichungen 107, 109 und 111 zu entnehmen sind.

β. Endstütze D (Textfig. 249 und 247, S. 287):

$$\left. \begin{array}{l} \text{Einzellast } P \text{ im Öffnungsfeld } A - B: D = + P \frac{\eta_C}{\nu} = + P\delta \\ \text{'' } P \text{ '' '' } B - C: D' = - P \frac{\eta'_C}{\nu} = - P\delta' \\ \text{'' } P \text{ '' '' } C - D: D'' = + P \left(\beta'' - \eta''_C \cdot \frac{1}{\nu} \right) = + P\delta'' \end{array} \right\} \dots \dots 113.$$

Hierbei sind die Werte für η_C , η'_C und η''_C den Gleichungen 106, 108 und 110 zu entnehmen.
 γ. Zwischenstütze C (Textfig. 249 und 247, S. 287):

$$\left. \begin{array}{l} \text{Einzellast } P \text{ im Öffnungsfeld } A - B: C = P \left[\frac{\mu + \nu}{\mu \nu} \eta_C + \frac{1}{\mu} \eta_B \right] = - P\gamma \\ \text{'' } P \text{ '' '' } B - C: C' = P \left[\beta' + \frac{\mu + \nu}{\mu \nu} \eta'_C - \eta'_B \frac{1}{\mu} \right] = + P\gamma' \\ \text{'' } P \text{ '' '' } C - D: C'' = P \left[1 - \beta'' + \eta''_B \frac{1}{\mu} + \eta''_C \frac{\mu + \nu}{\mu \nu} \right] = + P\gamma'' \end{array} \right\} 114.$$

Hierbei sind die Werte für η_C , η'_C , η''_C , η'_B und η''_B den Gleichungen 106 bis 111 zu entnehmen.

δ. Zwischenstütze B (Textfig. 249 und 247, S. 287). Die Stützdrücke ergeben sich aus:

$$B = P - (A + C + D) \dots \dots \dots 115.$$

c) Einflußlinien der Momente an zwischen den Stützen gelegenen Querschnitten N (Textfig. 247, S. 287).

α. Öffnungsfeld A - B. Das Moment M_x im Abstand $x = \xi l$ vom Auflager A (Textfig. 247) findet man bei

1. Laststellung P im Öffnungsfeld $A - B$: für $\beta \leq \xi$; $M_x = (Pl)[(\alpha - 1)\xi + \beta] = (Pl)\eta_x$ } 116^a.
 „ $\beta > \xi$; $M_x = (Pl)\alpha\xi = (Pl)\eta_x$ }

2. „ P „ „ $B - C$: $M_x = -(Pl)\alpha'\xi = -(Pl)\eta'_x$ 117^a.

3. „ P „ „ $C - D$: $M_x = + (Pl)\alpha''\xi = + (Pl)\eta''_x$ 118^a.

β. Öffnungsfeld $B - C$. Das Moment M'_x im Abstand $x' = \xi'\mu l$ von der Stütze B (Textfig. 247) findet man bei:

1. Laststellung P im Öffnungsfeld $A - B$: $M'_x = (Pl)[\delta(\mu + \nu - \xi') - \gamma'\mu(1 - \xi')] = (Pl)\eta'_x$. . 116^b.

2. „ P „ „ $B - C$:
 für $\beta' \leq \xi'$; $M'_x = (Pl)[\delta'(\mu + \nu - \xi') - \gamma'\mu(1 - \xi')] = (Pl)\eta'_x$ }
 „ $\beta' > \xi'$; $M'_x = (Pl)[(\gamma' - \delta')\mu(1 - \xi') - \mu(\beta' - \xi') - \nu\delta'] = (Pl)\eta'_x$ } . 117^b.

3. Laststellung P im Öffnungsfeld $C - D$: $M'_x = (Pl)[\alpha'' - \mu\xi'(1 + \gamma'' + \delta'')] = (Pl)\eta''_x$. . 118^b.

γ. Öffnungsfeld $C - D$. Das Moment M''_x im Abstand $x'' = \xi''\nu l$ von der Stütze C (Textfig. 247) findet man bei

1. Laststellung P im Öffnungsfeld $A - B$: $M''_x = (Pl)\nu(1 - \xi'')\delta = + (Pl)\eta_x$. . 116^c.

2. „ P „ „ $B - C$: $M''_x = -(Pl)\nu(1 - \xi'')\delta' = -(Pl)\eta'_x$. 117^c.

3. „ P „ „ $C - D$:
 für $\beta'' \leq \xi''$; $M''_x = + (Pl)\nu(1 - \xi'')\delta'' = + (Pl)\eta''_x$ }
 „ $\beta'' > \xi''$; $M''_x = (Pl)\nu[\delta'' - \beta'' + \xi''(1 - \delta'')] = (Pl)\eta''_x$ } 118^c.

Alle erforderlichen Werte der Verhältniszahlen $\alpha, \alpha', \alpha'', \gamma, \gamma', \gamma'', \delta, \delta'$ und δ'' lassen sich aus der Gleichungsfolge 112 bis 114 unmittelbar entnehmen.

d) Die Einfluslinien der Querkräfte Q_x sind durch die der Stützenmomente schon gefunden (vergl. Gleichung 9 und 10, sowie Textfig. 262 b, S. 304).

§ 18. Änderung der Höhenlage der Zwischenstützen (Textfig. 247, S. 287). Für den unbelasteten Träger erhält man nach Gleichung 5:

$$M_B \cdot 2(1 + \mu) + M_C \cdot \mu = \frac{6 EJ}{l^2} \left(\frac{s_A - s_B}{1} + \frac{s_C - s_B}{\mu} \right)$$

$$M_B \cdot \mu + M_C \cdot 2(\mu + \nu) = \frac{6 EJ}{l^2} \left(\frac{s_B - s_C}{\mu} + \frac{s_D - s_C}{\nu} \right).$$

1. Behält man die Höhenlage der Endstützen bei, so wird $s_A = s_D = 0$, wenn man die Überhöhung der beiden Zwischenstützen mit s_C und s_D bezeichnet. Hierfür ergibt sich:

$$M_B = - \frac{6 EJ}{l^2} [2(\mu + \nu)\nu(\mu s_B - s_C + s_B) + \nu(s_B - s_C) - \mu s_C] \frac{1}{\mu\nu} \cdot \frac{1}{4(1 + \mu)(\mu + \nu) - \mu^2} 119.$$

2. Überhört man beide Zwischenstützen um den gleichen Betrag, so wird $s_B = s_C$ und

$$M_B = - \frac{6 EJ}{\nu l^2} \cdot \left[\frac{\mu + 2\nu}{4(1 + \mu)(\mu + \nu) - \mu^2} \right] s_B 120.$$

3. Bei symmetrischer Anordnung des durchlaufenden Trägers wird überdies $\nu = 1$, mithin:

$$M_B = - \frac{6 EJ}{l^2} \cdot \left[\frac{2 + \mu}{4(1 + \mu)^2 - \mu^2} \right] s_B 121.$$

Setzt man ferner noch $\mu = 0$, so wird $M_B = - \frac{3 EJ}{l^2} s_B$, oder

$$s_B = \frac{l^2}{3 EJ} M_B = \frac{Pl}{2} \cdot \frac{l^2}{3 EJ} = \frac{Pl^3}{6 EJ},$$

was bekanntlich die Einbiegung eines in der Mitte durch die Einzellast P belasteten Trägers von der Stützweite $2l$ ist.

4. Sollen die Momente an den Zwischenstützen B und C gleich groß werden, so findet sich bei gegebener Überhöhung der einen Zwischenstütze jene der anderen aus:

$$\frac{s_C}{s_B} = \frac{\nu(2 + \mu)}{2\nu + \mu} 122.$$

§ 19. Ungleiche Erwärmung.

1. Der Wärmeunterschied zwischen dem Ober- und Untergurt betrage $\tau_o - \tau_u = \pm \Delta\tau$ Grade Celsius, wobei durch die Wandung ein stetiger Wärmeausgleich stattfindet. Dann wird sich der

gewichtslos gedachte, nur an den beiden Enden frei drehbar aufgelagerte Träger gleichmäßig nach dem Krümmungshalbmesser r krümmen, ohne dass innere Spannungen entstehen. Wird nun der Träger gezwungen, mit allen Zwischenstützen in Berührung zu bleiben, so werden Momente hervorgerufen, die nach den Formeln für gesenkte Zwischenstützen berechnet werden können. Da nun $M_x = \frac{EJ}{r}$ und $r = \frac{h}{\alpha \cdot \Delta\tau}$, mithin $M_x = \frac{EJ \cdot \alpha \cdot \Delta\tau}{h}$, so erhält man schließlich:

$$\left. \begin{aligned} M_B \cdot 2(1 + \mu) + M_C \cdot \mu &= \pm 3\alpha \cdot EJ \cdot \Delta\tau \cdot (1 + \mu) \frac{1}{h} \\ M_B \cdot \mu + M_C \cdot 2(\mu + \nu) &= \pm 3\alpha \cdot EJ \cdot \Delta\tau \cdot (\mu + \nu) \frac{1}{h} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 123.$$

und hieraus: $M_B = \pm \frac{3\alpha EJ \cdot \Delta\tau}{h} \cdot \frac{(2 + \mu)(\mu + \nu)}{4(1 + \mu)(\mu + \nu) - \mu^2} \dots \dots \dots 124.$

$$M_C = \pm \frac{3\alpha EJ \cdot \Delta\tau}{h} \cdot \frac{(1 + \mu)(\mu + 2\nu)}{4(1 + \mu)(\mu + \nu) - \mu^2} \dots \dots \dots 125.$$

Es ist beachtenswert, dass diese Stützennomente vollständig unabhängig von der gesamten Trägelänge selbst sind.

2. Für gleich große Aufsenöffnungen wird $\nu = 1$ und

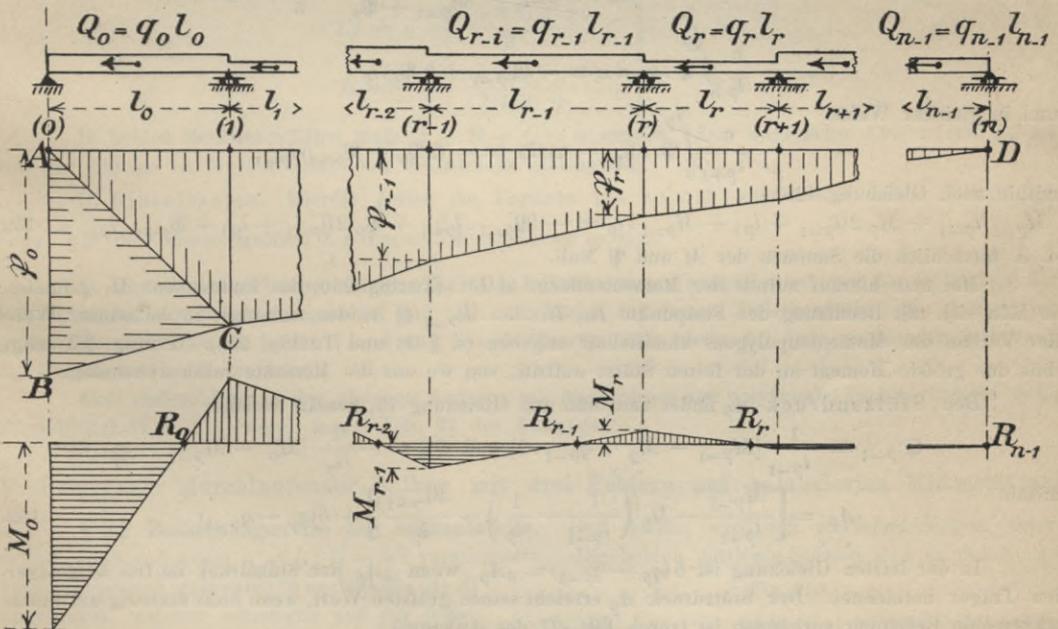
$$M_B = M_C = \pm \frac{3\alpha EJ \cdot \Delta\tau}{h} \cdot \frac{(1 + \mu)(2 + \mu)}{4(1 + \mu)^2 - \mu^2} \dots \dots \dots 126.$$

3. Für $\mu = 0$ wird

$$M_B = \pm \frac{3\alpha EJ \cdot \Delta\tau}{h} \cdot \frac{2\nu}{4\nu} = \pm \frac{3}{2} \frac{\alpha EJ \cdot \Delta\tau}{h} \dots \dots \dots 127.$$

Es ist beachtenswert, dass die Lage der Zwischenstützen bei dem über 2 Öffnungsfelder durchlaufenden Träger gleichgültig bleibt (vergl. auch § 74 und 75).

Fig. 250.

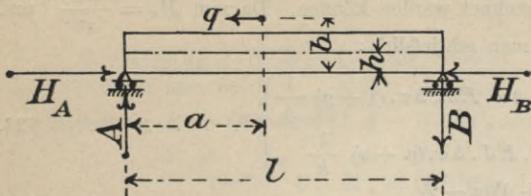


§ 20. Wagerechte Längsbelastung des durchlaufenden Trägers mit mehr als zwei Öffnungsfeldern (Bremswirkung). Der durchlaufende Träger sei an einer Stütze (0) (Textfig. 250) fest, an allen übrigen wagerecht reibungslos verschieblich aufgelagert und die Stützen liegen in einer Geraden. Früher (S. 268) wurde $l_0 = l$ und allgemein $l_\rho = \mu_\rho l$ gesetzt. Mit dieser Bezeichnungsweise erhält man nach Gleichung 5 (S. 269):

$$M_{\rho-1} \cdot l_{\rho-1} + M_\rho \cdot 2(l_{\rho-1} + l_\rho) + M_{\rho+1} \cdot l_\rho = -\frac{6}{l_{\rho-1}^2} \int_0^{l_{\rho-1}} \mathfrak{B} \cdot x \, dx - \frac{6}{l_\rho^2} \int_0^{l_\rho} \mathfrak{B}(l_\rho - x) \, dx \dots \dots \dots 128.$$

Hierin bezieht sich die Abszisse x jeweilig auf die linke Stütze des Öffnungsfeldes und \mathfrak{P} bedeutet das statische Moment in einem beliebigen Querschnitt des ρ ten Öffnungsfeldes im Abstand x von A_ρ unter der Voraussetzung, das Trägerfeld sei nicht durchlaufend, sondern frei drehbar aufgelagert.

Fig. 251.



Gleichförmige Belastung $q_0, q_1 \dots q_{\nu-1}$ in den Feldern $l_0, l_1 \dots l_{\nu-1}$ (vergl. Textfig. 251). Der Angriffspunkt der $Q = ql$ liege in allen Öffnungen in der Höhe b und die Längsachse in der Höhe h über den Stützen, dann wird im Öffnungsfeld $l_{\rho-1}$:

$$\mathfrak{P} = -H_{\rho-1} \cdot h + Ax - \int_0^x q_{\rho-1} \cdot (b-h) dx = -H_{\rho-1} \cdot h - q_{\rho-1} \cdot h(l_{\rho-1} - x) = -H_{\rho-1} \cdot h + q_{\rho-1} \cdot hx \quad 129.$$

Demnach nach Textfig. 250 u. 251 ist $A = -B = ql \cdot \frac{b}{l}$, $H_A = H_B + ql$, mithin

$$A_{\rho-1} = -A_\rho = \frac{q_{\rho-1} l_{\rho-1}}{l_{\rho-1}} b = q_{\rho-1} \cdot b \quad 130.$$

$$H_{\rho-1} = H_\rho + q_{\rho-1} \cdot l_{\rho-1} \quad \text{und} \quad H_\rho = \sum_{\rho}^{p-1} ql \quad 131.$$

Den Verlauf der durch Gleichung 129 dargestellten Geraden zeigt Textfig. 250. Für durchaus gleiche Belastung $q_0 = q_1 = \dots q_{\nu-1}$ geht der Polygonzug BCD (Textfig. 250) in eine Gerade über.

Zerlegt man die Momentenfläche $ABCD$ (Textfig. 250) in das Dreieck ABC und die Fläche ACD , so läßt sich nachweisen, daß bloß das Dreieck ABC den Verlauf der Momente M_ρ beeinflusst. Weil der Schwerpunktsabstand $s_{\rho-1}$ der von den Momenten $\mathfrak{P}_{\rho-1}$ und \mathfrak{P}_ρ (Textfig. 250) eingeschlossenen

Momentenfläche, auf die Stütze $\rho - 1$ bezogen, $s_{\rho-1} = \frac{\mathfrak{P}_{\rho-1} + 2\mathfrak{P}_\rho}{\mathfrak{P}_{\rho-1} + \mathfrak{P}_\rho} \cdot \frac{l_\rho}{3}$, wird

$$-\frac{6}{l_\rho} \int_0^{l_\rho} \mathfrak{P} \cdot x \cdot dx = -(\mathfrak{P}_{\rho-1} + 2\mathfrak{P}_\rho) l_\rho$$

und in gleicher Weise

$$-\frac{6}{l_{\rho+1}} \int_0^{l_\rho} \mathfrak{P} \cdot (l_\rho - x) dx = -(2\mathfrak{P}_\rho + \mathfrak{P}_{\rho+1}) l_{\rho+1},$$

mithin nach Gleichung 128:

$$M_{\rho-1} l_{\rho-1} + M_\rho 2(l_{\rho-1} + l_\rho) + M_{\rho+1} l_\rho = -[\mathfrak{P}_{\rho-1} \cdot l_{\rho-1} + \mathfrak{P}_\rho 2(l_{\rho-1} + l_\rho) + \mathfrak{P}_{\rho+1} \cdot l_\rho] \quad 132.$$

d. h. tatsächlich die Summen der M und \mathfrak{P} Null.

Hat man hierauf mittels der Momentenfläche ABC (Textfig. 250) das Endmoment M_0 gefunden, so läßt sich mit Benutzung der Festpunkte $R_0, R_1 \dots R_{\nu-1}$ (§ 34 des Anhangs) in bekannter Weise der Verlauf des Momentenpolygons unmittelbar angeben (s. § 34 und Textfig. 250). Textfig. 250 zeigt, daß das größte Moment an der festen Stütze auftritt, von wo aus die Momente rasch abnehmen.

Den Stützendruck A_ρ findet man nun aus Gleichung 13, gemäß welcher

$$Q''_{\rho-1} = \frac{1}{l_{\rho-1}} [M_{\rho-1} - M_\rho + q_{\rho-1} \cdot b] \quad \text{und} \quad Q'_\rho = -\frac{1}{l_\rho} [M_\rho - M_{\rho-1} - q_\rho \cdot b],$$

mithin

$$A_\rho = \left[\frac{M_{\rho-1}}{l_{\rho-1}} - M_\rho \left(\frac{1}{l_{\rho-1}} + \frac{1}{l_\rho} \right) + \frac{M_{\rho+1}}{l_\rho} \right] + b(q_\rho - q_{\rho-1}) \quad 133.$$

In der letzten Gleichung ist $b(q_\rho - q_{\rho-1}) = sA_\rho$, wenn sA_ρ den Stützdruck im frei aufgelagerten Träger bezeichnet. Der Stützdruck A_ρ erreicht seinen größten Wert, wenn bloß einseitig der Stütze wagerechte Belastung vorhanden ist (vergl. Litt. 27 des Anhangs).

§ 21. Der durchlaufende Träger mit zwei Feldern.

A. Gleichförmige teilweise Belastung q .

a) Pfeilmomente. Für die aus Textfig. 252 ersichtliche Verteilung der verschieblichen und der festen Auflager findet man, wenn 1. das Feld l teilweise belastet, das Feld l' unbelastet ist: $\mathfrak{P} = ql[b\xi - h']\beta$ und hierfür

$$M_C = -(ql) \frac{3h - b}{2(1 + \nu)} \cdot \beta \quad 134^a.$$

Fig. 252.



In gleicher Weise, wenn 2. Feld l unbelastet und Feld l' auf die Länge $p' = \nu l \cdot \beta'$ belastet ist, wobei sich $p' = \nu l \beta'$ auf die Mittelstütze bezieht, mit $\mathfrak{P} = (q \nu l) [\xi' - 1] b \beta'$

$$M_C = + (q l) \frac{3h - b}{2(1 + \nu)} \nu^2 \cdot \beta' \dots \dots \dots 134^b.$$

Aus den Gleichungen 134^{a, b} folgt, daß Vollbelastung blofs eines der beiden Felder die Größtwerte $\max \pm M_C$ hervorruft.

b) Die Stützendrücke finden sich für den 1. Belastungsfall aus:

$$\left. \begin{aligned} A_1 &= q \frac{3(b - h) + 2\nu b}{2(1 + \nu)} \beta \\ C_1 &= q [3h - b(1 + 2\nu)] \frac{\beta}{2\nu} \\ B_1 &= q [b - 3h] \frac{\beta}{2(1 + \nu)\nu} \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 135^a.$$

und für den 2. Belastungsfall, weil $M_C = + (q l) (3h - b) \frac{\nu^2}{2(1 + \nu)} \beta'$, aus:

$$\left. \begin{aligned} A_2 &= q \frac{(3h - b)\nu^2}{2(1 + \nu)} \beta' \\ C_2 &= q \frac{\nu(b - 3h) + 2b}{2} \beta' \\ B_2 &= -q \frac{3\nu(b - h) + 2b}{2(1 + \nu)} \beta' \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 135^b.$$

In beiden Belastungsfällen muß $A + B + C = 0$ werden. Der wagerechte Abstand der Lasten von den Stützen ist für die Gröfse der Stützendrücke gleichgiltig.

B. Einzellasten. Hierfür gelten die Formeln 134 bis 135 unmittelbar, sofern anstatt $q\beta$, bezw. $q\beta'$ die Summengrößen $\sum_A^C P$ bezw. $\sum_C^B P$ eingesetzt werden.

C. Die Endergebnisse hängen für beide Belastungsarten hauptsächlich von der Höhenlage der Fahrbahntafel zur Brückenlängsachse und zur Stützfläche der festen Zwischenstütze ab. Für gleich grofse Öffnungsfelder, d. h. für $\nu = 1$ und $b = h$ (Textfig. 252) bleibt für jede wagerechte Belastung die Zwischenstütze C druckfrei.

Eine andere Lösung der gleichen Aufgabe mit Anwendung auf polygonale Fachwerkträger siehe Fortschrittsheft S. 118; vergl. ferner Litt. 27 des Anhangs.

V. Homogener durchlaufender Balken mit drei Feldern auf balancierten Mittelstützen.

§ 22. Bestimmungsweise der Stützendrücke. Der Balken wird mit unveränderlichem Querschnitte und außerdem $l_1 = l_3$; $l_2 = \omega l$ vorausgesetzt. Die beiden mittleren Stützen sind an den Enden eines unelastisch gedachten Wagebalkens $A_2 A_3$ angebracht, welcher seinerseits auf der festen Stütze B ruht (Textfig. 253). Von Konstruktionswegen muß dann bei jeder Belastung $A_2 = A_3$ sein. Eine im Abstände λl von A_1 befindliche Einzellast P ruft also denselben Stützendruck

Fig. 253.



$(A_2) = (A_3)$ hervor, wie die ebenso grofse Last P im Abstände $\nu l = \lambda l$ von A_4 . Bezeichnet man daher die bei irgend einer Belastung an den Enden des Wagebalkens hervorgerufenen Stützendrücke mit $(A_2) = (A_3)$, dagegen diejenigen Stützendrücke, welche an denselben Stellen, bei derselben Belastung, jedoch bei unnachgiebigen Stützen erzeugt werden, mit A_2 und A_3 , so ist stets

$$(A_2) = (A_3) = \frac{A_2 + A_3}{2} \dots \dots \dots 136.$$

Die Werte von A_2 und A_3 sind nach den unter IV. gegebenen Formeln bekannt. Ist $(A_2) = (A_3)$ nach Gleichung 136 bestimmt, so ergeben sich die Stützdrücke (A_1) und (A_4) aus den Gleichgewichtsbedingungen:

$$(A_1) + (A_2) + (A_3) + (A_4) = \text{Summe sämtlicher Lasten} \dots \dots \dots 137.$$

$$\left. \begin{aligned} A_2 l = A_3 (1 + \omega) l + A_4 (2 + \omega) l = \text{Summe der Momente} \\ \text{sämtlicher Lasten bezüglich Punkt } A_1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots 138.$$

§ 23. **Einzellasten.** Befinden sich in dem ersten, zweiten und dritten Felde Einzellasten P, Q, T in den bezw. Abständen λl von $A_1, \mu l$ von A_2 und νl von A_4 (vergl. Textfig. 253), so erhält man mittels Einsetzens von A_2 und A_3 aus Gleichung 89 in Gleichung 136

$$(A_2) = (A_3) = \frac{\Sigma P \lambda}{2} \left[1 + \frac{1 - \lambda^2}{3\omega + 2} \right] + \frac{\Sigma Q}{2} \left[1 + \frac{3\mu(\omega - \mu)}{3\omega + 2} \right] + \frac{\Sigma T \nu}{2} \left[1 + \frac{1 - \nu^2}{3\omega + 2} \right] \dots 139.$$

Aus den Gleichungen 138 und 139, welche jetzt heißen:

$$(A_1) + 2(A_2) + (A_4) = \Sigma P + \Sigma Q + \Sigma T$$

$$(A_2)(2 + \omega)l + (A_4)(2 + \omega)l = \Sigma P \cdot \lambda l + \Sigma Q(1 + \mu)l + \Sigma T(2 + \omega - \nu)l,$$

folgt dann ferner:

$$\begin{aligned} (A_1) = \Sigma P \left[1 - \lambda + \frac{\omega \lambda}{2(2 + \omega)} - \frac{\lambda(1 - \lambda^2)}{2(2 + 3\omega)} \right] + \Sigma Q \left[\frac{1}{2} - \frac{1 + \mu}{2 + \omega} - \frac{3\mu(\omega - \mu)}{2(2 + 3\omega)} \right] - \\ - \Sigma T \frac{\nu}{2} \left[\frac{1 - \nu^2}{3\omega + 2} + \frac{\omega}{2 + \omega} \right] = \Sigma P(\alpha) + \Sigma Q(\beta) - \Sigma T(\gamma) \dots \dots \dots 140. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_4 = -\Sigma P \frac{\lambda}{2} \left[\frac{1 - \lambda^2}{3\omega + 2} + \frac{\omega}{2 + \omega} \right] + \Sigma Q \left[\frac{1 + \mu}{2 + \omega} - \frac{3\mu(\omega - \mu)}{2(2 + 3\omega)} - \frac{1}{2} \right] + \\ + \Sigma T \left[1 - \nu + \frac{\omega \nu}{2(2 + \omega)} - \frac{\nu(1 - \nu^2)}{2(2 + 3\omega)} \right] = -\Sigma P(\gamma') + \Sigma Q(\beta') + \Sigma T(\alpha') \dots 141. \end{aligned}$$

§ 24. **Gleichförmig verteilte Lasten.** Die Größe der Stützdrücke ist aus Gleichung 139 bis 141 zu erhalten, indem man $P = q_1 \cdot d(\lambda l) = q_1 l \cdot d\lambda$ und entsprechend $Q = q_2 l \cdot d\mu$, sowie $T = q_3 l \cdot d\nu$ setzt und die Ausdrücke in Bezug auf die Veränderlichen λ, μ und ν innerhalb der Belastungsgrenzen integriert.

Für voll belastete Felder ergibt sich

$$(A_1) = (\alpha_1) \cdot q_1 l - (\alpha_2) \cdot q_2 l - (\alpha_3) \cdot q_3 l \dots \dots \dots 140^a.$$

$$(A_2) = (A_3) = (\alpha'_1) q_1 l + (\alpha'_2) q_2 l + (\alpha'_3) q_3 l \dots \dots \dots 139^a.$$

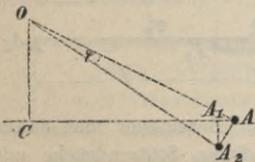
$$(A_4) = -(\alpha_3) q_1 l - (\alpha_2) q_2 l + (\alpha_1) q_3 l \dots \dots \dots 141^a.$$

wenn zur Abkürzung $(\alpha_1) = \frac{18\omega^2 + 35\omega + 14}{8(3\omega + 2)(\omega + 2)}$; $(\alpha_2) = \frac{\omega^2}{4(3\omega + 2)}$; $(\alpha_3) = \frac{6\omega^2 + 5\omega + 2}{8(3\omega + 2)(\omega + 2)}$; $(\alpha'_1) = \frac{6\omega + 5}{8(3\omega + 2)}$ und $(\alpha'_2) = \frac{\omega(7\omega + 4)}{4(3\omega + 2)}$ gesetzt wird. (Weiteres siehe Litt. 38 des Anhangs.)

VI. Durchlaufende Fachwerkbalken.

§ 25. **Der Satz vom augenblicklichen Drehpunkte.** Jede unendlich kleine Ortsveränderung einer der Form nach unveränderlichen Figur in ihrer Ebene kann als Drehung um einen gewissen augenblicklichen Drehpunkt angesehen werden. Man findet letzteren als Durchschnitt der Normalen an die Bahnelemente zweier Punkte der sich bewegenden Figur. (Vergleiche u. a. Ritter's analytische Mechanik, Kap. III, § 8.)

Fig. 254.



Ist A (Textfig. 254) ein Punkt der sich bewegenden Figur und O der augenblickliche Drehpunkt, so ist für einen sehr kleinen Drehungswinkel φ die lotrechte Verschiebung $A_1 A_2$ des Punktes A , dessen wagerechter Abstand von $O C A = x$ heißt:

$$A_1 A_2 = A A_2 \cdot \cos A A_2 A_1 = A A_2 \cdot \cos O A C = O A \cdot \varphi \cdot \cos O A C = x \varphi \dots \dots \dots 142.$$

§ 26. Elastische Durchbiegung eines einseitig eingespannten Fachwerkes. Setzt man zunächst voraus, daß in dem Fachwerke ABG (Textfig. 255) nur der eine Untergurtstab AD elastisch ist, und daß dieser infolge der Wirkung der äußeren Kräfte sich um $DD_1 = \Delta$ verkürzt, so beschreibt hierbei D den kleinen Kreisbogen DD_2 mit dem Halbmesser CD , und ebenso E den Kreisbogen EE_2 mit dem Halbmesser CE um C . Der Punkt C ist also nach § 25 der augenblickliche Drehpunkt für die ganze, der Form nach unveränderliche Figur $CDEFGH$. Die Größe des sehr kleinen Drehungswinkels φ ergibt sich zu

$$\varphi = \tan \varphi = \frac{DD_2}{CD} = \frac{DD_1}{CK} = \frac{\pm \Delta}{u}.$$

Das Vorzeichen richtet sich danach, ob Δ einer Verlängerung oder einer Verkürzung entspricht. Nach Gleichung 142 ist also z. B. für den Punkt G , da hier $x = m$ ist, wenn man die lotrechte Verschiebung von G mit d_1 bezeichnet:

$$d_1 = m \varphi = \pm m \frac{\Delta}{u} \dots \dots \dots 143.$$

In ganz ähnlicher Weise findet man, wenn nur ein Stab, z. B. EH des Obergurtes elastisch ist, als lotrechte Verschiebung d_2 des Punktes G , da nunmehr der augenblickliche Drehpunkt in F sich befindet:

$$d_2 = n \varphi = \mp n \frac{\Delta}{o} \dots \dots \dots 144.$$

Verändert nur ein Füllungsglied, z. B. AC seine Länge (Textfig. 256) um $CC_1 = \Delta$, so beschreibt hierbei der Punkt C den kleinen Kreisbogen CC_2 mit dem Halbmesser BC , und ebenso der Punkt D den Kreisbogen DD_2 mit dem Halbmesser AD um A . Nach § 25 ist also der Durchschnitt O von BC und AD der augenblickliche Drehpunkt für die ganze unveränderliche Figur $CDEFG$. Die Größe des Drehungswinkels ist:

$$\varphi = \tan \varphi = \frac{CC_2}{OC} = \frac{CC_1}{OK} = \pm \frac{\Delta}{s}$$

und folglich die lotrechte Verschiebung d_3 von G nach Gleichung 142:

$$d_3 = r \cdot \varphi = \pm r \frac{\Delta}{s} \dots \dots \dots 145.$$

Für Parallelträger wird

$$\frac{s}{r} = \cos \gamma, \text{ also } d_3 = \pm \frac{\Delta}{\cos \gamma} \dots \dots \dots 145^a.$$

Fig. 255.

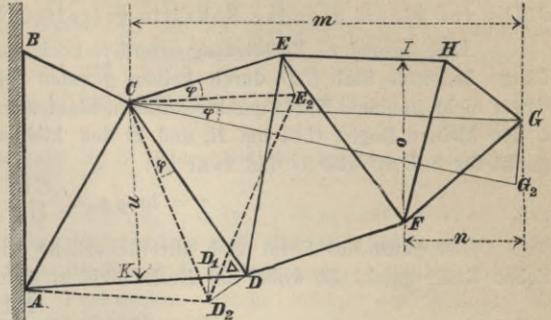


Fig. 256.

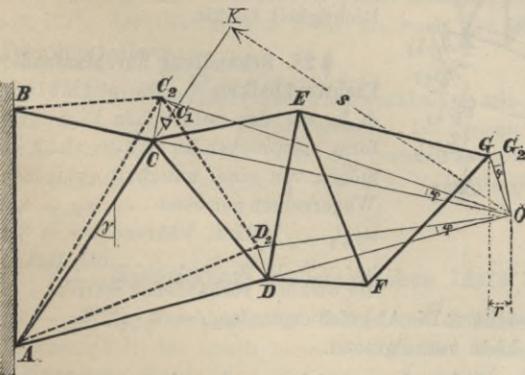
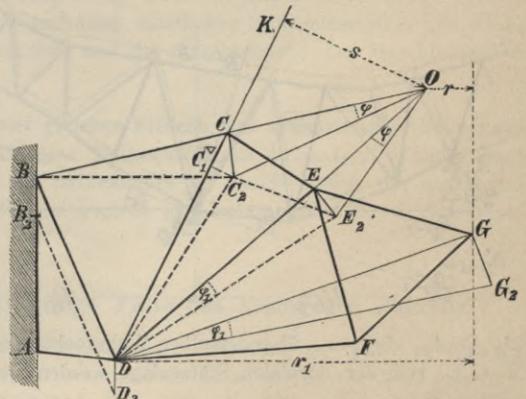


Fig. 257.



Nach den Formeln 143 bis 145 ist es also leicht, die lotrechte Verschiebung irgend eines Knotenpunktes des Fachwerkes zu bestimmen, welche infolge der Längenänderung eines Fachwerkstabes entsteht. Dieselbe ist gleich dieser Längenänderung mal dem wagerechten

Abstände des entsprechenden augenblicklichen Drehpunktes von dem betreffenden Knotenpunkte und geteilt durch die Länge der Senkrechten von dem augenblicklichen Drehpunkt auf den seine Länge ändernden Stab. Der augenblickliche Drehpunkt ist aber der Durchschnittspunkt derjenigen beiden Stäbe, welche außer dem betrachteten Stabe von einem geraden Schnitte getroffen werden können.

Eine besondere Erläuterung erfordert noch der in Textfig. 257 dargestellte Fall, wenn der seine Länge ändernde Stab CD durch keinen geraden Schnitt getroffen werden kann, welcher nur durch drei, nicht in einem Knotenpunkte zusammenlaufende Stäbe hindurchgeht. Es beschreibt in diesem Falle C den kleinen Bogen CC_2 um B , und E den kleinen Bogen EE_2 um D . Der augenblickliche Drehpunkt für CE ist also O und zwar ist:

$$\varphi = \text{tang } \varphi = \frac{CC_2}{OC} = \frac{CC_1}{OK} = \pm \frac{\Delta}{s}.$$

Der ganze der Form nach unveränderliche Fachwerkteil $DEFG$ dreht sich um den unbeweglichen Knotenpunkt D , wobei der Drehwinkel φ_1 sich zu

$$\varphi_1 = \text{tang } \varphi_1 = \frac{EE_2}{ED} = \frac{EO \cdot \varphi}{ED}$$

und folglich nach Gleichung 142 die lotrechte Verschiebung d_3 des Knotenpunktes G sich zu

$$d_3 = r_1 \varphi_1 = r_1 \frac{EO \cdot \varphi}{ED} = \pm \frac{EO}{ED} \cdot \frac{r_1 \cdot \Delta}{s} \dots \dots \dots 145^b.$$

ergibt. — Ist schließlich nur der Knotenpunkt A fest, dagegen B längs AB beweglich, so liegt, da D den kleinen Kreisbogen DD_2 um A beschreibt, der entsprechende augenblickliche Drehpunkt im Durchschnitte von AD mit der in B auf AB errichteten Senkrechten.

Die wirkliche, d. h. die der Längenänderung sämtlicher Fachwerkstäbe entsprechende lotrechte Verschiebung d' von G wird durch Summierung zu

$$d' = \Sigma d_1 + \Sigma d_2 + \Sigma d_3 \dots \dots \dots 146.$$

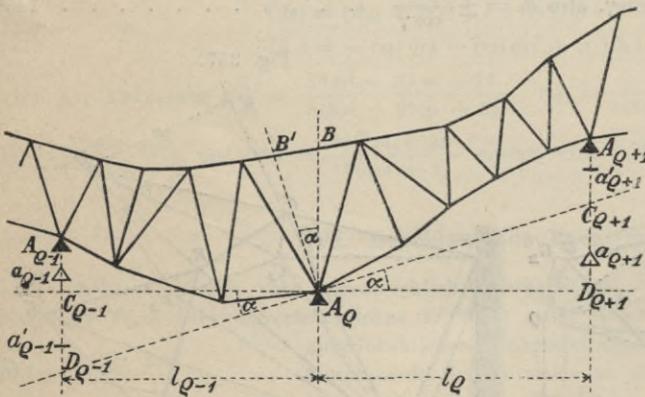
erhalten, worin die einzelnen d_1, d_2 und d_3 nach Gl. 143 bis 145^a zu berechnen sind. Was die Längenänderungen Δ selbst der einzelnen Stäbe anlangt, so ergeben sie sich bekanntlich zu

$$\Delta = \frac{Sl}{FE} \dots \dots \dots 147.$$

worin S den im Stabe wirkenden Zug oder Druck, F den gegebenen Stabquerschnitt, l die Stablänge und E das Elastizitätsmaß bedeutet.³²⁾

§ 27. Elastische Durchbiegung eines schief eingespannten Fachwerkbalkens. Die Formel 146 für die lotrechte Verschiebung des Balkenendes G ist zwar für die Voraussetzung einer lotrechten Lage von AB abgeleitet worden. Doch sieht man aus dem Gange der Rechnung leicht ein, daß (ähnlich wie in § 1) dieselbe auch für eine schwach geneigte Lage von AB angenähert ihre Richtigkeit behält.

Fig. 258.



§ 28. Behandlung durchlaufender Fachwerkbalken.³³⁾ Die normalen, d. h. die der natürlichen Fachwerkform entsprechenden Stützenhöhen mögen von einer unterhalb gelegenen Wagerechten gemessen $\dots u_{\rho-1}, u_{\rho}, u_{\rho+1} \dots$ heißen, während wie in § 3 $\dots s_{\rho-1}, s_{\rho}, s_{\rho+1} \dots$ die Höhen der wirklich vorhandenen Stützen \dots

$A_{\rho-1}, A_{\rho}, A_{\rho+1} \dots$ über derselben Wagerechten bezeichnen. Die Abweichungen $(u_{\rho-1} - s_{\rho-1}), (u_{\rho} - s_{\rho})$ u. s. w. von der normalen Stützenlage werden nur klein vorausgesetzt.

Denkt man sich in dem durchlaufenden Fachwerke, welches auf seinen normalen Stützen $a_{\rho-1}, a_{\rho} = A_{\rho}, a_{\rho+1}$ ruht und unbelastet ist, einen lotrechten Schnitt $A_{\rho} B$ (Textfig. 258) ge-

³²⁾ u. ³³⁾ Andere Behandlungsweisen der vorliegenden Aufgaben s. Kap. VIII dieses Handbuchs (3. Aufl.).

führt, so wird dieser Schnitt, wenn das Fachwerk auf den wirklich vorhandenen Stützen $A_{\rho-1}$, A_{ρ} , $A_{\rho+1}$ zu ruhen gezwungen und außerdem belastet wird, in eine geneigte Lage $A_{\rho} B'$ übergehen. Man kann nun das in diesem Zustande befindliche Fachwerk als ein in $A_{\rho} B'$ eingespanntes ansehen, welches durch die Wirkung der äußeren Kräfte einerseits in die Form $A_{\rho} B' A_{\rho-1}$, andererseits in die Form $A_{\rho} B' A_{\rho+1}$ gebracht worden ist. Für die Tangente des Winkels α , den die Normale $D_{\rho-1} C_{\rho-1}$ zum Einspannungsquerschnitt $A_{\rho} B'$ mit der Wagerechten $C_{\rho-1} D_{\rho+1}$ bildet, erhält man die beiden Ausdrücke

$$\frac{C_{\rho-1} D_{\rho-1}}{l_{\rho+1}} \quad \text{und} \quad \frac{C_{\rho+1} D_{\rho+1}}{l_{\rho+1}},$$

welche einander gleich sein müssen, da der Querschnitt $A_{\rho} B'$ beiden Balkenteilen gemeinschaftlich geblieben ist.

Trägt man von $D_{\rho-1}$ die Strecke $D_{\rho-1} a'_{\rho-1} = C_{\rho-1} a_{\rho-1} = (u_{\rho-1} - u_{\rho})$ auf, so ist $a'_{\rho-1}$ die normale Stütze für den in $A_{\rho} B'$ eingespannten Balken; hier würde sich also der Untergurt des Fachwerkes befinden, wenn dasselbe frei und unbelastet aus der Wand $A_{\rho} B'$ herausragte. Die Strecke $a'_{\rho-1} A_{\rho-1}$ ist demnach diejenige Durchbiegung $d'_{\rho-1}$ des Fachwerkes, welche infolge der Wirkung der äußeren Kräfte entsteht und welche nach Formel 146 zu berechnen ist.

Ganz entsprechend ist auf der anderen Seite, wenn man $C_{\rho+1} a'_{\rho+1} = D_{\rho+1} a_{\rho+1} = (u_{\rho+1} - u_{\rho})$ macht, $a'_{\rho+1} A_{\rho+1} = d'_{\rho+1}$ die nach Gleichung 146 zu berechnende Durchbiegung.³⁴⁾ Man erhält

$$\begin{aligned} \text{tang } \alpha &= \frac{C_{\rho-1} D_{\rho-1}}{l_{\rho-1}} = \frac{A_{\rho-1} a'_{\rho-1} + a'_{\rho+1} D_{\rho-1} - A_{\rho-1} C_{\rho-1}}{l_{\rho-1}} = \frac{d'_{\rho-1} + (u_{\rho-1} - u_{\rho}) - (s_{\rho-1} - s_{\rho})}{l_{\rho-1}}, \\ \text{tang } \alpha &= \frac{C_{\rho+1} D_{\rho+1}}{l_{\rho}} = \frac{A_{\rho+1} D_{\rho+1} - (C_{\rho+1} a'_{\rho+1} + a'_{\rho+1} A_{\rho+1})}{l_{\rho}} = \frac{(s_{\rho+1} - s_{\rho}) - (u_{\rho+1} - u_{\rho}) - d'_{\rho+1}}{l_{\rho}}. \end{aligned}$$

Hierin sind die Durchbiegungen $d'_{\rho-1}$ und $d'_{\rho+1}$ als positiv eingeführt, wenn sie nach unten gerichtet sind. Aus beiden Gleichungen folgt:

$$\frac{d'_{\rho+1} + (u_{\rho-1} - u_{\rho}) - (s_{\rho-1} - s_{\rho})}{l_{\rho-1}} = \frac{-d'_{\rho+1} - (u_{\rho+1} - u_{\rho}) + (s_{\rho+1} - s_{\rho})}{l_{\rho}} \quad \dots \quad 148.$$

Dies ist die Grundgleichung für die durchlaufenden Fachwerkbalken. Die u und die s sind gegebene Größen und bei geradem Untergurte auf gleich hohen Stützen durchweg = 0. Die nach Gleichung 146 mit Hilfe von Gleichung 147 zu berechnenden d' hängen von den inneren Kräften S in den einzelnen Fachwerkstäben ab. Diese Züge oder Drücke S lassen sich bekanntlich (nach der sogenannten statischen Momenten-Methode) durch die Biegemomente M der äußeren Kräfte am abgeschnittenen Balkenstücke ausdrücken. Da nun aber für irgend ein ρ tes Feld nach Gleichung 3:

$$M = \mathfrak{M} + M_{\rho} + \frac{M_{\rho+1} - M_{\rho}}{l_{\rho}} x,$$

so wird Gleichung 148 schliesslich als Unbekannte nur die Stützenmomente $M_{\rho-1}$, M_{ρ} , $M_{\rho+1}$ enthalten. Sie erscheint demnach als Verallgemeinerung der Gleichung 4 und dient wie jene bei mehrfacher Wiederholung auf je zwei benachbarte Felder zunächst zur Berechnung sämtlicher Stützenmomente, und dann, mit Hilfe der Gleichungen 9 bis 13, auch der Querkräfte und der Stützendrücke des durchlaufenden Fachwerkbalkens.

§ 29. Durchlaufender Fachwerkbalken mit zwei gleichen Feldern und symmetrischer Belastung.

Der Querschnitt $A_2 B$ bleibt lotrecht. Es genügt, die eine Balkenhälfte zu behandeln. Drückt man nach Gleichung 146 aus, daß die Durchbiegung d' des Balkenendes A_1 gerade gleich der gegebenen Abweichung der Endstützen von der Normallage ist, so ergibt sich unmittelbar der Stützendruck $A_1 = A_3$.

VII. Bestimmung der elastischen Linie für einige Fälle des homogenen Balkens.

§ 30. Durchlaufender Balken mit 2 Feldern.

Gleichförmige Belastung q_1 bzw. q_2 für die Längeneinheit des ersten bzw. des zweiten Feldes. Stützenordinaten s_1 , s_2 , s_3 (Textfig. 259) über der Wagerechten.

³⁴⁾ Da α nur klein ist, so genügt es, nach § 27 für die Berechnung der d' mittels Gl. 146, den Einspannungsquerschnitt lotrecht wie $A_{\rho} B$ statt $A_{\rho} B'$ anzunehmen.

1. J unveränderlich.

Denkt man sich den Balken nach seiner Formänderung in A_2 unter dem Winkel α , den die Tangente an die elastische Linie dort mit der Wagerechten bildet, eingespannt, so folgt aus Gleichung 1^a, wenn das dem $x = \xi l = \xi l$ entsprechende y von der Wagerechten durch A_2 positiv nach unten gerechnet, während der Abstand irgend eines Querschnittes von A_1 mit $\zeta l = \zeta l$ bezeichnet wird:

$$y = \frac{l^2}{EJ} \int_{\xi}^1 M(\zeta - \xi) d\xi + l(1 - \xi) \tan \alpha = \frac{l^3}{EJ} \int_{\xi}^1 \left(-A_1 \zeta + \frac{1}{2} q_1 l \cdot \zeta^2 \right) (\zeta - \xi) d\xi + l(1 - \xi) \tan \alpha \dots 149.$$

Hieraus, da für $x = 0, y = s_2 - s_1$ sein muß:

$$EJy = EJ(s_2 - s_1) \cdot (1 - \xi) + l^3(1 - \xi^2) \frac{A_1 \xi}{6} - l^4(1 - \xi^3) \frac{q_1 \xi}{24} \dots 150.$$

Entsprechend für das Feld l_2 , wofür $x_1 = \xi_1 l_2 = \nu l \cdot \xi_1$:

$$EJy = EJ(s_2 - s_3) \nu(1 - \xi_1) + \nu^3 l^3(1 - \xi_1^2) \frac{A_3 \xi_1}{6} - \nu^4 l^4(1 - \xi_1^3) \frac{q_2 \xi_1}{24} \dots 151.$$

A_1 und A_3 sind aus Gleichung 23 und 25 zu entnehmen.

Fig. 259.

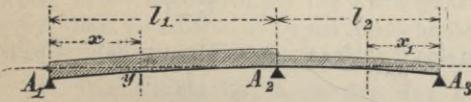
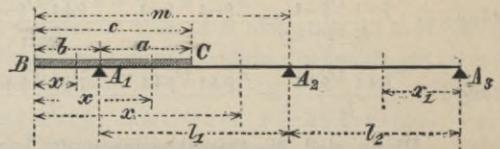


Fig. 260.



Erstreckt sich eine gleichförmige Belastung k für die Längeneinheit nur über das Stück $a + b = (\alpha + \beta)l$ in der Nähe einer Stütze A_1 (Textfig. 260), so erhält man bei gleich hohen Stützen, wenn die x von B aus gemessen werden:

a) Wenn der betreffende Punkt der elastischen Linie zwischen B und A_1 liegt und die Abzisse des laufenden Querschnittes $z = \zeta l$ genannt und $m = \mu l_1 = \mu l$ und $c = \gamma l$ gesetzt wird,

$$y = \frac{l^2}{EJ} \int_{\xi}^{\mu} M(\zeta - \xi) d\zeta + l(\mu - \xi) \tan \alpha = \frac{l^3}{EJ} \int_{\xi}^{\mu} -A_1(\zeta - \beta)(\zeta - \xi) d\zeta + k \frac{l^4}{2EJ} \int_{\xi}^{\gamma} \zeta^2 (\zeta - \xi) d\zeta + k \frac{l^4}{2EJ} \int_{\gamma}^{\mu} \gamma(2\zeta - \gamma)(\zeta - \xi) d\zeta + l(\mu - \xi) \tan \alpha \dots 152.$$

$$EJy = -A_1 \frac{(\mu - \beta)^2(2\mu + \beta - 3\xi)}{6} l^3 + k \left[\frac{(\gamma - \xi)^2(3\gamma^2 + 2\gamma\xi + \xi^2)}{24} + \frac{\gamma(\mu - \gamma)(4\mu^2 + \mu\gamma + \gamma^2 - 6\mu\xi)}{12} \right] l^4 + EJ(\mu - \xi) l \tan \alpha \dots 153.$$

Hierin ist A_1 aus Gleichung 31 einzusetzen, während $\tan \alpha$ aus der Bedingung, daß für $x = b, y = 0$ sein muß, folgt:

$$EJ \tan \alpha = A_1 \frac{(\mu - \beta)^2}{3} l^2 - \frac{k l^3}{\mu - \beta} \left[\frac{(\gamma - \beta)^2(3\gamma^2 + 2\gamma\beta + \beta^2)}{24} + \frac{\gamma(\mu - \gamma)(4\mu^2 + \mu\gamma + \gamma^2 - 6\mu\beta)}{12} \right] \dots 154.$$

b) Wenn der betreffende Punkt zwischen A und C liegt, erhält man in ähnlicher Weise:

$$EJy = -A_1 \frac{(\mu - \xi)^2(2\mu + \xi - 3\beta)}{6} l^3 + k l^4 \left[\frac{(\gamma - \xi)^2(3\gamma^2 + 2\gamma\xi + \xi^2)}{24} + \frac{\gamma(\mu - \gamma)(4\mu^2 + \mu\gamma + \gamma^2 - 6m\xi)}{12} \right] + EJ(\mu - \xi) l \tan \alpha \dots 155.$$

c) Wenn der betreffende Punkt zwischen C und A_2 sich befindet:

$$EJy = -A_1 \frac{(\mu - \xi)^2(2\mu + \xi - 3\beta)}{6} l^3 + k l^4 \frac{\gamma(\mu - \xi)^2(4\mu + 2\xi - 3\gamma)}{12} + EJ(\mu - \xi) l \tan \alpha \dots 156.$$

Für $\tan \alpha$ ist stets der Wert aus Gleichung 154 einzusetzen. In dem Felde l_2 erhält man ganz entsprechend wie Gleichung 151:

$$EJy = \nu^3 l^3 (1 - \xi_1^2) \frac{A_3 \xi_1}{6} \dots \dots \dots 157.$$

worin A_3 aus Gleichung 33 einzusetzen ist.

2. J veränderlich.

In diesem Falle sind die in Gleichung 149 vorkommenden Integrale mit Hilfe der Gleichungen 39 bis 42 zu berechnen.

Ferner hat man für den in Textfig. 260 dargestellten Belastungszustand, wenn der betreffende Punkt zwischen B und A_1 liegt (entsprechend der Gleichung 152), in abgekürzter Schreibweise:

$$y = l^4 \left[\int_{\xi}^{\mu} \varphi(\zeta) d\zeta + \int_{\xi}^{\gamma} \psi(\zeta) d\zeta + \int_{\gamma}^{\mu} \chi(\zeta) d\zeta \right] + l(\mu - \xi) \tan \alpha \dots \dots \dots 153^a.$$

und ähnlich, wenn der betreffende Punkt zwischen A_1 und C liegt:

$$y = l^4 \left[\int_{\xi}^{\mu} \varphi(\zeta) d\zeta + \int_{\xi}^{\gamma} \psi(\zeta) d\zeta + \int_{\gamma}^{\mu} \chi(\zeta) d\zeta \right] + l(\mu - \xi) \tan \alpha \dots \dots \dots 155^a.$$

sowie schliesslich, wenn der betreffende Punkt sich zwischen C und A_2 befindet:

$$y = l^4 \left[\int_{\xi}^{\mu} \varphi(\zeta) d\zeta + \int_{\xi}^{\mu} \psi(\zeta) d\zeta \right] + l(\mu - \xi) \tan \alpha \dots \dots \dots 156^a.$$

Die Berechnung der Integrale erfolgt auch hier nach den Gleichungen 39 bis 42. Zur Bestimmung von $\tan \alpha$ gilt die Bedingung, dass man $y = s_2 - s_1$ in A_1 erhalten muss. Die Werte von A_1 und A_3 ergeben sich leicht, wenn M_2 bestimmt ist. Letzteres ist nach Anleitung von § 7 aus Gleichung 4 zu erhalten, indem man $M_1 = -kl^2 \cdot \frac{\beta^2}{2}$ und $M_3 = 0$ einsetzt.

Anstatt obige Integrale zu berechnen, kann man dieselben auch konstruieren. Zu diesem Zwecke berücksichtige man, dass das Integral $l^2 \int \frac{M}{EJ} (\zeta - \xi) d\zeta$ auch $\frac{l^2}{EJ_0} \int \frac{J_0 M}{J} (\zeta - \xi) d\zeta$ (vergleiche Gl. 149 u. 152) geschrieben werden kann, wobei J_0 ein beliebiges unveränderliches Trägheitsmoment eines Balkenquerschnittes bedeutet. Da nun die Biegemomente M , bei gegebener Belastung des Balkens, für jedes x bekannt sind, so lässt sich leicht die „reduzierte Momentenfläche“ zeichnen, deren Ordinaten den $\frac{J_0}{J} M$ entsprechen (ähnlich wie in § 10, Textfig. 239, wo jedoch die M für einen einfachen Balken statt der jetzigen M für einen durchlaufenden Balken aufzutragen waren). Obiges Integral stellt nun nichts anderes dar, als das in Bezug auf die Lotrechte bei x (beziehentlich x_1) genommene statische Moment desjenigen Stückes der reduzierten Momentenfläche, welches sich von A_2 bis zum Querschnitte bei x (bezw. x_1) erstreckt.

Fasst man daher die reduzierte Momentenfläche als Belastungsfläche auf und konstruiert mit einem beliebigen Polabstande H dieser Belastung entsprechende Seilkurve, deren Tangente in A_2 wagerecht liegt und deren Punktordinaten [unterhalb dieser Wagerechten + η_x heissen mögen, so ist z. B. mit Bezug auf Gleichung 149

$$l^2 \int_{\xi}^1 \frac{M}{EJ} (\zeta - \xi) d\zeta = \frac{H}{EJ_0} \cdot \eta_x$$

und folglich, nach Gleichung 149

$$y = \frac{H}{EJ_0} \cdot \eta_x + l(1 - \xi) \tan \alpha.$$

Da nun aber für $x = 0$, $y = s_2 = s_1$ sein muss, so folgt, wenn η_x für $x = 0$ mit η_1 bezeichnet wird,

$$\tan \alpha = \frac{s_2 - s_1}{l} - \frac{H}{EJ_0} \cdot \frac{\eta_1}{l}$$

und daher:

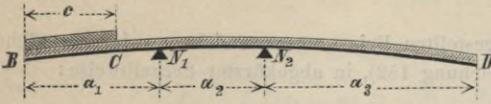
$$y_x = (s_2 - s_1)(1 - \xi) + \frac{H}{EJ_0} (\eta_x + (1 - \xi) \cdot \eta_1) \dots \dots \dots 158.$$

§ 31. Beiderseits überhängender Balken vom Eigengewichte g auf die Längeneinheit, welcher über das Stück $BC = c = \gamma l$ mit einer gleichförmigen Last k auf die Längeneinheit belastet ist (Textfig. 261). Die Abszissen $x = \xi l$ zählen wir von B aus; die Ordinaten y positiv unterhalb der Wagerechten durch $N_1 N_2$.

1. J unveränderlich.

Denkt man sich den Balken nach der Formänderung in N_2 unter dem Winkel β , den die Tangente an die elastische Linie mit der Wagerechten bildet, eingespannt, so folgt nach Gleichung 1*, wenn abkürzungshalber $a_1 + a_2 = l(1 + \mu) = l\varepsilon$, wobei für $a_1 = l$, $a_2 = \mu l$ und $a_3 = \nu l$ eingeführt wird.

Fig. 261.



wobei für $a_1 = l$, $a_2 = \mu l$ und $a_3 = \nu l$ eingeführt wird.

a) Wenn der betreffende Punkt der elastischen Linie zwischen B und C liegt:

$$y = \frac{l^2}{EJ} \int_{\xi}^{\varepsilon} M(\zeta - \xi) d\zeta + l(\varepsilon - \xi) \tan \beta = \frac{l^3}{EJ} \int_1^{\varepsilon} -N_1(\zeta - 1)(\zeta - \xi) d\zeta + \frac{kl^4}{EJ} \int_{\xi}^{\gamma} \zeta^2(\zeta - \xi) d\zeta + \frac{kl^4}{2EJ} \int_{\gamma}^{\varepsilon} \gamma(2\zeta - \gamma)(\zeta - \xi) d\zeta + \frac{gl^4}{2EJ} \int_{\xi}^{\varepsilon} \zeta^2(\zeta - \xi) d\zeta + l(\varepsilon - \xi) \tan \beta \dots 159.$$

$$EJy = -N_1 \cdot \frac{l^3}{6} (\varepsilon - 1)^2 (2\varepsilon + 1 - 3\xi) + kl^4 \left(\frac{1}{24} (\gamma - \xi)^2 (3\gamma^2 + 2\gamma\xi + \xi^2) + \frac{1}{12} \gamma(\varepsilon - \gamma) (4\varepsilon^2 + \varepsilon\gamma + \gamma^2 - 6\varepsilon\xi) \right) + \frac{gl^4}{24} (\varepsilon - \xi)^2 (3\varepsilon^2 + 2\varepsilon\xi + \xi^2) + EJl(\varepsilon - \xi) \tan \beta \dots 160.$$

Hierin ist:

$$N_1 = \frac{l}{2\mu} [(\varepsilon^2 - \nu^2)g + \gamma(2\varepsilon - \gamma)k] \dots 161.$$

und $\tan \beta$ aus Gleichung 163 einzusetzen.

b) Wenn der betreffende Punkt zwischen C und N_1 liegt, so erhält man in ähnlicher Weise:

$$EJy = -N_1 \frac{l^3}{6} (\varepsilon - 1)^2 (2\varepsilon + 1 - 3\xi) + \frac{kl^4}{12} \gamma(\varepsilon - \xi)^2 (4\varepsilon + 2\xi - 3\gamma) + \frac{gl^4}{24} (\varepsilon - \xi)^2 (3\varepsilon^2 + 2\varepsilon\xi + \xi^2) + EJl(\varepsilon - \xi) \tan \beta \dots 162.$$

Für $x = a_1$ ist $y = 0$, folglich:

$$EJ \tan \beta = N_1 \frac{\mu^3 \gamma^3}{3} - \frac{kl^3}{12} \gamma \cdot \mu (4\varepsilon + 2 - 3\gamma) - \frac{gl^3}{24} \mu (3\varepsilon^2 + 2\varepsilon + 1) \dots 163.$$

c) Wenn der betreffende Punkt zwischen N_1 und N_2 liegt:

$$EJy = -N_1 \frac{l^3}{6} (\varepsilon - \xi)^2 (2\varepsilon + \xi - 3) + \frac{kl^4}{12} \gamma(\varepsilon - \xi)^2 (4\varepsilon + 2\xi - 3\gamma) + \frac{gl^4}{24} (\varepsilon - \xi)^2 (3\varepsilon^2 + 2\varepsilon\xi + \xi^2) + EJl(\varepsilon - \xi) \tan \beta \dots 164.$$

Für $\tan \beta$ ist der Wert aus Gleichung 163 zu entnehmen.

d) Befindet sich der betreffende Punkt zwischen D und N_2 im Abstände $x_1 = \xi_1 \cdot \nu l$ von D , so hat man nach Gleichung 1*:

$$y = \frac{gl^4}{2EJ} \int_{\xi_1}^{\nu} \zeta^2(\zeta - \nu\xi_1) d\zeta - \nu l(1 - \xi_1) \tan \beta = \frac{gl^4}{24EJ} \nu^4 (1 - \xi_1)^2 (3 + 2\xi_1 + \xi_1^2) - \nu l(1 - \xi_1) \tan \beta \dots 165.$$

Hierin ist $\tan \beta$ aus Gleichung 163 einzusetzen.

2. J veränderlich.

Für den Fall a) gilt Gleichung 159, welche wir abgekürzt schreiben:

$$y = l^4 \left[\int_1^{\varepsilon} \varphi(\zeta) d\zeta + \int_1^{\varepsilon} \psi(\zeta) d\zeta + \int_{\xi}^{\varepsilon} \chi(\zeta) d\zeta \right] + l(\varepsilon - \xi) \tan \beta \dots 160^a.$$

und ähnlich für die Fälle b), c) und d) beziehentlich:

$$y = l^4 \left[\int_1^{\xi} \varphi(\zeta) d\zeta + \int_{\xi}^{\xi_0} \psi(\zeta) d\zeta + \int_{\xi_0}^{\xi} \chi(\zeta) d\zeta \right] + l(\varepsilon - \xi) \operatorname{tang} \beta \dots 162^a.$$

$$y = l^4 \left[\int_{\xi}^{\xi} \varphi(\zeta) d\zeta + \int_{\xi}^{\xi_0} \psi(\zeta) d\zeta + \int_{\xi_0}^{\xi} \chi(\zeta) d\zeta \right] + l(\varepsilon - \xi) \operatorname{tang} \beta \dots 164^a.$$

$$y = \nu l^4 \int_{\xi_1}^1 \chi(\zeta) d\zeta - \nu l(1 - \xi) \operatorname{tang} \beta \dots 165^a.$$

$\operatorname{tang} \beta$ bestimmt sich aus der Bedingung $y = 0$ für $x = a_1$. Die Integrale sind nach den Formeln 39 bis 42 zu berechnen.

Will man die Integrale konstruieren, so ist (vergl. den vorigen Paragraphen) zunächst die „reduzierte Momentenfläche“ mit den Ordinaten $\frac{J_0}{J} M$ zu bilden und für diese, als Belastungsfläche, eine durch den Stützpunkt N_2 mit einer wagerechten Tangente hindurchgehenden Seilkurve zu zeichnen. Heißt der hierbei benutzte Polabstand H und bezeichnet man die unterhalb der Wagerechten durch N_2 sich erstreckenden Punktordinaten der Seilkurve mit $+\eta_x$, so ist (vergl. Gleichung 159)

$$\frac{l^2}{EJ} \int_{\xi}^{\xi} M(\zeta - \xi) d\zeta = \frac{H}{EJ_0} \cdot \eta_x$$

und folglich nach Gleichung 159

$$y = \frac{H}{EJ_0} + l(\varepsilon - \xi) \operatorname{tang} \beta.$$

Da nun aber für $x = a_1$, $y = 0$ sein muß, so folgt, wenn η_x für $x = a_1$ mit η_1 bezeichnet wird,

$$\operatorname{tang} \beta = - \frac{H}{EJ_0} \cdot \frac{\eta_1}{l(\varepsilon - 1)}$$

und daher

$$y = \frac{H}{EJ_0} \left(\eta_x - \frac{\varepsilon - \xi}{\varepsilon - 1} \cdot \eta_1 \right) \dots 166.$$

VIII. Homogener über drei Felder durchlaufender Balken mit Nebenbedingungen.

§ 32. Nebenbedingungen. Als Nebenbedingung für den in §§ 15 bis 21 behandelten durchlaufenden Balken wird Gleichheit der Momente M_B und M_C an den Zwischenstützen (Textfig. 246, S. 285 und Textfig. 247, S. 287) gefordert, die praktisch durch Einschaltung eines Querkraft-Nullfeldes im Pfeilerfach $B - C$ erreicht wird (vergl. Fortschrittsheft S. 115). Dann findet man nach § 15, wenn man in den Gleichungen 80 u. 81 $M_2 = M_3$ setzt, für den Belastungsfall:

1. Einzellast P im Abstände $x = \xi l$ von der Stütze A (Textfig. 247 a) die Stützdrücke

$$A = P \frac{2 + 6\mu + 2\nu - (3 + 6\mu + 2\nu)\xi + \xi^3}{2 + 6\mu + 2\nu} \dots 167^a.$$

$$B = P - C \dots 168^a.$$

$$- C = + D = P \frac{\xi - \xi^3}{2 + 6\mu + 2\nu} \dots 169^a.$$

2. Einzellast P im Abstand $x' = \mu \xi' l$ von der Stütze B (Textfig. 247 a) die Stützdrücke

$$- A = + B = P \frac{\mu^2(2\xi'^2 - 3\xi'^2 + \xi'^3) + \nu^2(\xi' - \xi'^3)}{2 + 6\mu + 2\nu} = \frac{\mu^2\eta + \nu^2\eta'}{2 + 6\mu + 2\nu} \dots 167^b.$$

$$- D = + C = P \frac{\mu^2\eta + \nu^2\eta'}{\nu(2 + 6\mu + 2\nu)} \dots 169^b.$$

Hierzu können die Werte der η und η' unmittelbar der Textfig. 242 (S. 278) entnommen werden.

3. Für gleich große Außenfelder ist $\nu = 1$ zu setzen. Der negative Stützdruck (der Auftrieb) an der Zwischenstütze C wird nach Gleichung 169

$$C = - P \frac{\xi - \xi^3}{4 + 6\mu} \dots 170^a.$$

Für $\xi = \sqrt{\frac{1}{3}} = 0,577$ wird

$$\max(-) C = \frac{0,385}{4 + 6\mu} P \dots 170^b.$$

Für den theoretischen Grenzfall des verschwindend kleinen Pfeilerfeldes $B - C$ würde $\mu = 0$ und damit die absolut größte Abhebekraft $C = - 0,0963 P$ werden, also erst 9,63 % der wandernden Einzellast bei deren ungünstigsten Stellung erreichen. Ohne Querkraft-Nullfeld wird $C = - \infty P$. Die Nutzenwendung hiervon siehe § 59.

IX. Allgemein giltige Beziehungen beim homogenen durchlaufenden Balken mit beliebig vielen Feldern.

§ 33. **Bezeichnungen.** Wir bezeichnen die Endstützen mit (0) und $(\nu + 1)$; die Reihenfolge der Zwischenstützen mit (1), (2) . . . $(\rho - 1)$, (ρ) , $(\rho + 1)$. . . (ν) , die der Felder mit $l_0, l_1 \dots l_{\rho-1}, l_\rho, l_{\rho+1} \dots l_\nu$ und setzen $l_0 = l$; $l_1 = \mu_1 l \dots l_\rho = \mu_\rho l \dots l_\nu = \mu_\nu l$; ferner seien die Abstände der linken und rechten festen Wendepunkte (L_ρ und R_ρ) (Inflexionspunkte) des ρ ten Feldes $\rho x_L = \varphi_\rho l_\rho = \varphi_\rho \cdot \mu_\rho l = \psi_\rho l$ und $\rho x_R = \varphi'_\rho l_\rho = \varphi'_\rho \cdot \mu_\rho l = \psi'_\rho \cdot l$, und jene der festen Einfluspunkte (Influenzpunkte) (I'_ρ und I''_ρ): $\rho z_L = \chi_\rho l_\rho = \chi_\rho \cdot \mu_\rho l = \omega_\rho l$ und $\rho z_R = \chi'_\rho l_\rho = \chi'_\rho \cdot \mu_\rho l = \omega'_\rho \cdot l$, sämtlich bezogen auf die linke Stütze (ρ) des betrachteten Feldes l_ρ .

§ 34. **Besondere Festpunkte.** Es läßt sich allgemein nachweisen, dafs im durchlaufenden Balken mit unveränderlichem Querschnitt in jeder Öffnung:

a) Zwei blofs von der Form, nicht von der Belastung abhängige feste Punkte L_ρ und R_ρ in den äufseren Dritteln des Feldes so liegen, dafs das Moment bei L_ρ durch beliebige Belastung aller folgenden, das Moment bei R_ρ durch beliebige Belastung aller vorhergehenden Felder nicht geändert wird. Wir nennen sie die festen Wendepunkte. Es sind dies die Wendepunkte der Biegungslinien in den unbelasteten Feldern. Deren graphische Ermittlung siehe Handbuch der Ing.-Wissenschaften Bd. II, 2. Abt. 3. Aufl. 1901, Taf. III, Fig. 9 (vergl. auch Litt. No. 1, 14 u. 41 des Anhangs); zu deren Berechnung dienen die Gleichungen:

$$\rho x_L = \frac{\mu_\rho}{1 - \kappa_\rho} l \dots \dots \dots 170^a.$$

$$\rho x_R = \frac{\mu_\rho}{1 - \kappa'_\rho} l \dots \dots \dots 170^b.$$

Hierin sind bei frei drehbarer Auflagerung des Balkens über den Endstützen die Verhältniszahlen κ_ρ und κ'_ρ in dem Endfeld $l_0 = l$ bestimmt durch

$$\kappa_0 = -\infty \text{ und } \kappa'_0 = - \frac{2 + \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1}}{2(1 + \mu_1) \left(2 + \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_2}{\mu_1} \right) - \mu_1} \dots \dots \dots 171^a.$$

im Endfeld $l_\nu = \mu_\nu \cdot l$ durch:

$$\kappa'_\nu = 0 \text{ und } \kappa_\nu = - \frac{2(\mu_\nu + \mu_{\nu-1}) \left(2 + \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_{\nu-2}}{\mu_{\nu-1}} \right) - \mu_{\nu-1}}{\mu_\nu \left(2 + \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_{\nu-2}}{\mu_{\nu-1}} \right)} \dots \dots \dots 171^b.$$

und im beliebigen Zwischenfeld $l_\rho = \mu_\rho \cdot l$ durch:

$$\kappa_\rho = - \left(2 + \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_{\rho-1}}{\mu_\rho} \right) \text{ und } \kappa'_\rho = - \frac{1}{2 + \frac{3}{2} \cdot \frac{\mu_{\rho+1}}{\mu_\rho}} \dots \dots \dots 172.$$

Die Gleichungsfolge 171 bis 172 gibt nur für κ_0 und κ'_ν mathematisch genaue, für die übrigen κ genügend genaue Näherungswerte.

Für das zweite und vorletzte Feld erhält man mathematisch genau:

$$\kappa_1 = - 2 \left(1 + \frac{1}{\mu_1} \right) \text{ und } \kappa'_{\nu-1} = - \frac{1}{2 \left(1 + \frac{\mu_\rho}{\mu_{\nu-1}} \right)} \dots \dots \dots 173.$$

b) Zwei blofs von der Form, nicht von der Belastung abhängige feste Einfluspunkte (Influenzpunkte) I'_ρ und I''_ρ von der Art bestehen, dafs für eine im Feld l_ρ angreifende Last P bei $\rho z_L = \omega_\rho l$ die Änderungen der Momente aller folgenden, und bei $\rho z_R = \omega'_\rho \cdot l$ die Änderungen der Momente aller vorhergehenden Stützen Größtwerte erreichen. Diese Punkte bestehen auch am einfachen, an beiden Enden eingespannten Balken. Ihre Lage findet man aus den Gleichungen:

$$\rho^z_L = \frac{1 - \sqrt{1 - \frac{1}{3}(1 - \alpha'_\rho)(2 + \alpha'_\rho)}}{1 - \alpha'_\rho} \cdot \mu_\rho l \dots \dots \dots 174^a.$$

$$\rho^z_R = \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{1}{3}(1 - \alpha_\rho)(2 + \alpha_\rho)}}{1 - \alpha_\rho} \cdot \mu_\rho l \dots \dots \dots 174^b.$$

wobei die Werte für α der Gleichungsfolge 171 u. 172 zu entnehmen sind. Die Kenntnis der z gestattet eine bequeme Prüfung des Verlaufes der Einflußlinien, da sie die Abszissen der größten Ordinaten der Einflußlinien in den unbelasteten Feldern bilden (vergl. Textfig. 262, S. 304). (Näheres siehe Litt. 1 des Anhangs.)

c) Auf die laufenden Einflußpunkte (Influenzpunkte), welche jene Laststellungen geben, die die größten Beiträge zu den negativen Momenten in bestimmten Querschnitten liefern, sowie auf die laufenden Wendepunkte (Inflexionspunkte), d. h. jene Punkte eines Feldes, in denen die Momente durch in bestimmten Querschnitten stehende Lasten nicht geändert werden, kann hier nicht eingegangen werden. Hierüber siehe Litt. 1 des Anhangs.

§ 35. Einflußlinien. Der Verlauf aller Einflußlinien für lotrechte Lasten ist unabhängig von dem Unterschied in den Höhenlagen der Stützen.

§ 36. Vorzeichen der Momente und Querkräfte. Das Moment am Angriffspunkt einer einzigen Einzellast in einem Öffnungsfeld ist stets positiv und die Momenten-Nullpunkte liegen hierbei stets außerhalb der von den Punkten L_ρ und R_ρ eingeschlossenen Zwischenstrecke. — Die Querkraft links der Einzellast P ist stets positiv und die rechts der letzteren stets negativ (Textfig. 262, S. 304).

§ 37. Einfluß der Veränderlichkeit der Querschnitte. Bei unveränderlichem Querschnitte kann durch Senkung der Zwischenstützen der Baustoffaufwand herabgemindert werden. Bei Veränderlichkeit der Querschnitte ist in letzterer Hinsicht gleiche Höhenlage der Stützen vorzuziehen. Auf die Größe der statischen Größen (Momente und Querkräfte) ist der Einfluß der Querschnittsveränderlichkeit gering. So betragen z. B. bei einem über die fünf Stützen (0) bis (5) durchlaufenden Balken mit den Außenfeldern l_0 und den Zwischenfeldern $l_1 = 1,25l_0$ und mit zwischen 1,00 und 2,17 wechselndem Querschnitt die Mehrungen bzw. Minderungen der Pfeilmomente $\Delta M_1 = + 3\%$; $\Delta M_2 = + 6,3\%$; der größten positiven Momente in den Feldern l_0 und l_1 : $\pm 0,60\%$; der größten \pm Querkräfte ebendasselbst: $- 0,7$ und $+ 0,5\%$, bzw. $+ 0,4$ und $2,1\%$ und der größten Stützenwiderstände: $\Delta A_0 = - 0,7$; $\Delta A_1 = + 0,8$ und $\Delta A_2 = + 2,1\%$ (vergl. hierzu auch Fortschrittsheft S. 124). Die Verschiebung der festen Einflußpunkte (§ 34) infolge der Veränderlichkeit der Querschnitte ist klein genug, um sie in der Praxis vernachlässigen zu dürfen.

Zahlenbeispiel: In dem in Fig. 262 dargestellten durchlaufenden Balkenträger ist $\mu_0 = 1$; $\mu_1 = 1,650$; $\mu_2 = 2,000$; $\mu_3 = 1,875$ und $\mu_4 = 1,500$ zu setzen. Textfig. 262 a zeigt alle vier wesentlichen Formen der Einflußlinien für die Momente, die überhaupt in dem über beliebig viele Stützen durchlaufenden Träger auftreten können und die sich ergeben, je nachdem 1. der fragliche Querschnitt zwischen den Festpunkten L und R liegt, oder 2. mit einem der Festpunkte L oder R zusammenfällt, oder 3. zwischen einen dieser Festpunkte und der jeweilig zunächst gelegenen Stütze zu liegen kommt, oder endlich 4. mit einer der beiden Stützen des betrachteten Feldes zusammenfällt. Textfig. 262 b zeigt den Verlauf der Einflußlinien der Querkräfte für alle Querschnitte C im Feld (3) — (4), wenn man α alle Werte von 0 bis l_3 annehmen läßt.

Beispiel:

Feld (3): $\alpha_L = \frac{1,875}{1 + 3,600} l = 6,522 \text{ m}$ für $l_0 = l = 16,0 \text{ m}$, wobei $\alpha_3 = - \left(2 + 1,5 \frac{2,000}{1,875} \right) = - 3,600.$

$\alpha_R = \frac{1,875}{1 + 0,3125} l = 22,864 \text{ m}$, wobei $\alpha'_3 = - \frac{1}{2 + 1,5 \frac{1,500}{1,875}} = - 0,3125.$

Feld (2): $\alpha_R = \frac{1 + \sqrt{1 - \frac{1}{3} 4,324 \cdot 1,238}}{4,2324} \cdot 2,00 \cdot 16,0 = 20,000 \text{ m}$, wobei

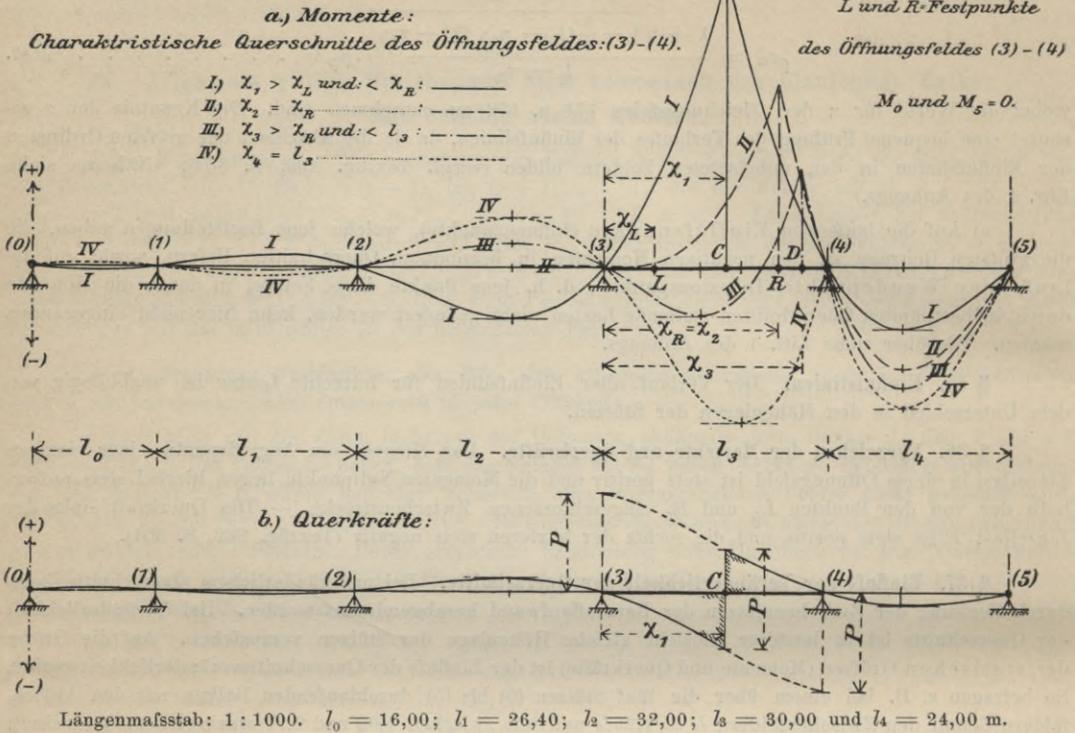
$\alpha_2 = - \left(2 + 1,5 \frac{1,650}{2,000} \right) = - 3,238.$

Feld (4): $\alpha_L = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{1}{3} 1,2} \right) 1,5 \cdot 16,0 = 10,152 \text{ m}$, wobei $\alpha'_4 = 0.$

Diese Punkte sind in Textfig. 262 a eingezeichnet.

Fig. 262.

Einflusslinien: Öffnungsfeld: (3)-(4).



§ 38. Begründung der bei der Ableitung der im Anhang gegebenen Formeln gewählten Bezeichnungsweise. Grundsätzlich wurden alle Größen nullter Ordnung, d. s. Verhältniszahlen, wie z. B. Einflussordinaten, Winkelgrößen u. s. w. mit den kleinen Buchstaben des griechischen Alphabetes bezeichnet, sowie alle Formeln auf die Stützweite Eins bezogen. Dadurch gestalten sich 1. letztere sehr übersichtlich, 2. ist ohne weiteres ersichtlich, welches Gewicht der Stützweite l bezüglich ihrer Wirkung auf die statischen Größen Q und M bezw. auf die elastischen Größen $\frac{dy}{dx}$ und y bezumessen ist. Als Multiplikator für die zuletzt genannten Größen ergeben sich die Werte l und l^2 bezw. l^3 und l^4 . Endlich lassen sich 3. z. B. alle ungleicharmigen Drehbrücken von einem bestimmten Verhältnis $\mu = \frac{l_1}{l_2}$ der beiden Öffnungsfelder l_1 und l_2 zu einer Gruppe zusammenfassen und alle Einflusslinien hierfür ein für allemal bestimmen. Bei Belastung durch Einzellastensysteme ist dann bloß ein Lastenlineal mit entsprechend angepaßtem Längensmaßstab zu verwenden.

Litteratur

(zugleich nach der Zeitfolge geordneter Quellennachweis)⁸⁵⁾

Theoretische Untersuchungen betreffend.

1. J. Weyrauch. Theorie und Berechnung der kontinuierlichen und einfachen Träger konstanten und veränderlichen Querschnitts. 1873.
2. Ritter. Anwendung der graphischen Theorie des kontinuierlichen Trägers auf Drehbrücken. Notizbl. d. techn. Ver. zu Riga 1874, S. 61.
3. Michaëlis. Hoogte van opzetting der draaibruggen. Tijdschrift van het koninkl. Inst. van Ing. Bijlage 16. 1872/73, S. 104.
4. Herschel. On the principles of the construction of revolving drawbridges. Transact. of the americ. soc. of civ. eng. März 1875, S. 395.

⁸⁵⁾ Siehe Anm. 3, S. 18.

5. De Savornin Lohman. Einige formules en opmerkingen betreffend draaibruggen mit 2 gelijke openingen bij willekeurige opzetting der uitenden. Tijdschr. van het koninkl. Inst. van Ing. 1895/76.
6. Bender und Herschel. Meinungs-austausch über kontinuierliche Träger, deren Theorie, deren Mängel, mit besonderer Rücksicht auf Drehbrücken. Journ. of the americ. soc. of civil eng., 1876, Mai und Juli, S. 147—198; 219—235.
7. Gaudard. Études sur les conditions de résistance des ponts tournants. Ann. du génie civ. 1877, Juni, S. 329—338 (sowie in Minutes of proceed. of the Inst. of civ. eng. 1876/77).
8. De Savornin Lohman. Over de vorm der liggers van draaibruggen, beschouwd in verband met de vereischte drawsdorsneden et met den arbeit der opzetting. Tijdschr. van het koninkl. Inst. van Ing. 1877/78, S. 261.
9. Kupferschmid. Verallgemeinerung der Clapeyron'schen Gleichungen für kontinuierliche Balken bei Schiffbrücken. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1880, S. 157.
10. Castigliano. Théorie d'équilibre des systèmes élastiques 1880. (Vergl. No. 15.)
11. Fränkel. Das Prinzip der kleinsten Arbeit der inneren Kräfte elastischer Systeme. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1882, S. 70.
12. Landsberg. Beitrag zur Theorie des Fachwerkes. Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver. zu Hannover 1886, S. 195.
13. M. W. J. s'Gravesande Guicherit en J. C. van de Poll. Einige formules omtrent draaibruggen met ongelijke armen. Tijdschrift van het koninkl. Inst. van Ing. 1886/87, S. 89.
14. E. Winkler. Theorie der Brücken. I. Heft 1886, S. 90 und II. Heft 1881, S. 221 und 372.
15. Castigliano. Theorie des Gleichgewichtes elastischer Systeme, 1886, S. 221. (No. 10 übersetzt von Hauff.)
- *16. R. Land. Über die Ermittlung und gegenseitige Beziehungen der Einfluslinien für Träger. Zeitschr. f. Bauw. 1890, S. 105.
- *17. Müller-Breslau. Über einige Aufgaben, welche auf Gleichungen der Clapeyron'schen Art führen. Zeitschr. f. Bauw. 1891, S. 103.
- *18. A. Hübner. Durchgehender Träger mit Querkraft-Nullfeldern. Zeitschr. f. Bauw. 1891, S. 552.
- *19. L. Freytag. Vereinfachung in der statischen Berechnung elastischer Balkenträger. 1892.
- *20. F. Engesser. Die Zusatzkräfte und Nebenspannungen eiserner Fachwerkbrücken. 1892/93.
- *21. T. C. Fidler. The hydraulic machinery of swing bridges. Engng. 1892, I. S. 245.
22. Vianello. Die kontinuierlichen Balken mit Dreiecks- und Trapezlast. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1893, S. 361.
23. Goebel. Berechnung kontinuierlicher Träger. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1893, S. 1137.
- *24. B. de Fontviolant. Ponts métalliques à travées continues. 1893.
- *25. A. Zschetzsche. Einfluss der Schubkräfte auf die Biegung einfacher Vollwandträger. Zentralbl. d. Bauverw. 1893, S. 386.
- *26. Johnson, Bryan and Turneaure. Theorie and practice of modern framed structures. 1893, S. 179—196.
- *27. F. Engesser. Die zusätzlichen Beanspruchungen durchgehender Balkenkonstruktionen (Bremswirkung und ungleiche Erwärmung). Zeitschr. f. Bauw. 1894, S. 305.
- *28. A. Zschetzsche. Beitrag zur Berechnung durchgehender Balkenträger. Zeitschr. f. Bauw. 1894, S. 597.
- *29. R. Land. Einfluss der Schubkräfte auf die Biegung statisch unbestimmter vollwandiger Träger. Zeitschr. f. Bauw. 1894, S. 611.
- *30. C. J. Kriemler. Tabellen zur schnellen Ermittlung der Deformation und des Gleichgewichtszustandes beliebiger massiver Träger von konstantem Trägheitsmoment. 1894.
- *31. Pustau. Auflagerdrücke, Laststellungen und Durchbiegung vollwandiger durchgehender Träger. Organ f. d. Fortschr. d. Eisenbahnw. 1894, S. 167.
- *32. M. A. Howe. Maximum stresses in drawbridges having too equal arms 1894.
- *33. L. Geusen. Über einige einfache Beziehungen zwischen den Momenten statisch bestimmter und statisch unbestimmter Träger von konstantem Trägheitsmoment. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1895, S. 403.
- *34. A. Franke. Die elastische Linie des Balkens. Zeitschr. f. Bauw. 1895, S. 439.
- *35. M. Merriman. The reactions of partially continous drawbridges. Engng. news 1895, II. S. 150. — Railroad gaz. 1895, S. 585.
- *36. Whited. The moments of stresses in swingspans with 4 supports. Engng. news 1895, II. S. 280.
- *37. Cart et Portes. Calcul des ponts métalliques à poutres droites à une ou plusieurs travées par la méthode de lignes d'influence (Tabellenwerk) 1895.
- *38. Müller-Breslau. Die graphische Statik der Baukonstruktionen. Bd. II, 2. Abt. 1. Lief. 1896, S. 20, 32, 90 u. 95.

39. C. H. Wright. The designing of drawspans. 1898.
40. Loidis. Swingbridges. (Ohne Jahreszahl.)
41. W. Ritter. Anwendungen der graphischen Statik. Bd. III, 1900, S. 22, 75, 104 u. 146.
42. Jöhrens. Über die Beanspruchung schwimmender Landungsanlagen. Zeitschr. f. Arch. u. Ing.-Wesen 1900, S. 51.
43. L. Geusen. Zeichnerische Bestimmung der Stützenmomente kontinuierlicher Träger mit konstantem Trägheitsmoment. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1900, S. 69.
44. Grages und Barkhausen. Zahlenbeispiele zur Berechnung von Brücken und Dächern. 1900, S. 87 mit Taf. XII bis XIV.
45. T. Claxton Fidler. A practical treatise on bridge construction. 1901, S. 134 u. 412.
46. A. Franke. Formeln für die elastisch gelagerten Träger. Zeitschr. f. Arch. u. Ing.-Wesen 1901, S. 14.
47. C. E. Young. A diagramm for finding pier moments on continous spans. Engng. news 1901, II. S. 360.
48. G. F. Barton. A graphical method for the solution of stresses in the continous girder, as applied to drawbridges. Proc. americ. Soc. civ. eng. 1901, S. 920 u. 1146.
49. Handbuch der Ingenieurwissenschaften. Bd. II, 2. Abt. 3. Aufl. 1901. Verschiebungspläne in der Ebene S. 241—251; Biegungslinie als Seilkurve der Winkeländerungen S. 253—259; Biegungslinie des über 3 Stützen durchlaufenden Trägers S. 261—262; Berechnung der Durchbiegungen S. 262—267; Einflußlinien statisch unbestimmter Systeme S. 281—284.
50. W. H. Burr. The stresses in bridge and roof trusses, arched ribs an suspension bridges. 1902, S. 125—228.
51. Ramisch. Untersuchung eines Balkens auf beliebig vielen Stützen. Dinglers Polyt. Journ. 1902, S. 517.
52. E. Godfrey. A simple method of calculating continous and constrained beams. Engng. news 1902, I. S. 316 und 1903, I. S. 345.
53. Ramisch. Zeichnung der Einflußlinien für die Gegendrücke der äußersten Stützen eines geraden kontinuierlichen Balkens mit veränderlichem Querschnitt auf 3 gleich hohen Stützen. Zeitschr. f. Arch. u. Ing.-Wesen 1902, S. 537.
54. Ch. E. Green. Trusses and arches. 1903, II. S. 117—177.
55. J. A. L. Waddell. De pontibus. A pocket-book for bridge engineers 1903, S. 103—128 und 182—212.
56. Merriman and Jacoby. A textbook on roofs and bridges. 1903, IV. S. 1—74.
57. Thieme. Beitrag zur Berechnung des kontinuierlichen Trägers über 2 Öffnungen. Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1901, S. 1819. — Deutsche Bauz. 1903, S. 101.
58. Klofs. Analytisch-graphisches Verfahren zur Bestimmung der Durchbiegung 2- und 3 fach gestützter Träger. Dinglers Polyt. Journ. 1903, S. 145, 214, 235, 245.
59. Müller-Breslau. Graphische Statik der Baukonstruktionen. Bd. II, 1. Abt. 3. Aufl. 1903, S. 141 u. 359 bis 402.
60. Müller-Breslau. Neuere Methoden der Festigkeitslehre. 3. Aufl. 1904, S. 62, 96 u. 183.
61. Szüts. Grundlage für eine analytische Theorie des kontinuierlichen Trägers beliebigen Querschnittes mit Rücksicht auf den Einfluß des Widerstandes gegen Drehen an den Stützen. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1904, S. 424.
62. G. Griot. Kontinuierliche Träger. Interpolierbare Tabellen zur Bestimmung der Einflußlinien für Momente und Querkräfte. 1904.
63. A. Ostenfeld. Technische Statik (durchlaufende Träger auf 4 Stützen). 1904, S. 385.
64. Heinzerling. Dreieck und Kraftübertragung in Baukonstruktionslehre und Bauwesen. 1904.
65. Brunner. Beitrag zur Berechnung der Querrahmen eiserner Brücken. Zeitschr. d. österr. Ing.- u. Arch.-Ver. 1904, S. 696.
66. F. Niedner. Berechnung von Schiffbrücken, 1904. Mit 54 Fig. und 1 Tafel.
67. Lueger. Lexikon der gesamten Technik. Bd. I, S. 761, 776 u. 783, Bd. III, S. 64, 552, 554, 665 u. 670; Bd. IV, S. 27, 37, 43 u. 367.
68. L. Vianello. Der Eisenbau 1905, S. 311—360.
69. C. Mohr. Abhandlungen aus dem Gebiet der technischen Mechanik 1906, S. 261, 305 u. 403. (Vergl. Litt. 12 nach § 110.)

Sachregister

der vierten Abteilung.

Die Ziffern bedeuten die Seitenzahlen.

- A**nfahrten für schwimmende Brücken. 253.
Anker für Brückenschiffe. 247.
Ankerketten. 247.
Anordnung, allgemeine, der beweglichen Brücken. 2.
— der Hauptträger bei Klappbrücken. 48.
Anschluß der Rampen an schwimmende Brücken. 253.
Arbeitsverminderung beim Heben der Drehbrücken. 105.
Auflagerung auf dem Drehpfeiler. 90, 170.
Ausgeführte Drehbrücken. 226.
— Hubbrücken. 32.
— Klapp-, Schaukel- und Faltbrücken. 84.
— Roll- und Schiebebrücken. 14.
- B**austoff der Brückenschiffe. 241, 242.
— d. Hauptträger d. Drehbrücken. 113.
— der Klappbrücken. 53.
— der Zugbrücken. 37.
Berechnung der Drehvorrichtungen bei Drehbrücken. 129.
— der Hauptträger der Drehbrücken s. Drehbrücken, Berechnung u. s. w.
— — der Klappbrücken. 54.
— — der Kranbrücken. 238.
— — der Rollbrücken. 16.
Beschreibung neuerer ausgeführter Drehbrücken. 184.
— Hubbrücken. 23.
— Klapp-, Schaukel- und Faltbrücken. 66.
— —, amerikanische. 74.
— —, deutsche. 69.
- —, englische. 66.
— —, holländische. 69.
Bewegliche Brücken, allgemeine Anordnung. 2.
— —, Einteilung. 1.
— —, Vergleich der verschiedenen Systeme. 262.
Bewegungskraft bei Drehbrücken. 120.
—, Fährbrücken. 256.
—, Faltbrücken. 79.
—, Hubbrücken. 31.
—, Klapp- und Schaukelbrücken. 58.
—, Rollbrücken. 14.
—, Zugbrücken. 16.
Bewegungsmechanismus bei Fährbrücken. 256.
—, Klappbrücken. 58.
Bewegungsvorrichtungen b. Drehbrücken. 126.
—, Hubbrücken. 30.
—, Kranbrücken. 238.
—, Rollbrücken. 14.
Blechträger als Hauptträger bei Drehbrücken. 116.
Biegungslinien, deren Bestimmung für Drehbrücken. 159, 161, 169.
Biegemomente, Berechnung derselben bei Drehbrücken. 149.
Bockgerüste bei schwimmenden Brücken. 253.
Bockschiff. 254.
Brücken für Kriegszwecke. 260.
—, ausgeführte. 261.
Brückenschiffe. 241, 244.
—, Anzahl. 241, 248.
—, eiserne. 253.
—, hölzerne. 254.
Buffer bei Drehbrücken. 138.
— Hubbrücken. 22.
- D**ampfkraft zur Bewegung der Drehbrücken. 121.
Dampfwinden für schwimmende Brücken. 253.
Daumen bei Klappbrücken. 65.
Dichtungsleisten bei Drehbrücken. 218.
Doppeldrehbrücken. 103, 211.
—, mit Zugbrücken. 115.
Drehachse der Klappbrücken. 56, 57.
Drehbrücken. 88.
—, Anlagen zur Schifffahrtserleichterung. 143.
—, amerikanische. 97.
—, deutsche. 98.
—, englische. 97.
—, Anzahl der Hauptträger. 90.
—, Auflagerdrücke bei geänderter Höhenlage der Stützen. 94.
—, Auflagerung auf dem Drehpfeiler. 90, 170.
—, ausgeführte. 226.
— —, Eisenbahnbrücken. 226.
— —, Strafenbrücken. 232.
—, Berechnung der Bewegungsvorrichtungen. 126.
—, —, Abmessungen der Einzelteile. 129.
—, — bei amerikanischen mit Rollenkranzlagerung. 135.
—, —, Festwerte d. Widerstände. 128.
—, —, Reibungswiderstände. 127.
—, —, Zahlenbeispiele. 129.
—, Berechnung der Drehvorrichtungen. 129.
—, Berechnung des Drehzapfens. 176.
—, —, des Druckhauptes. 177.
—, — der Druckwasserpresen. 183.

- Drehbrücken, Berechnung d. Hauptquerträger. 176.
- , — der Hauptträger. 145.
- , — —, armierte durchlaufende Träger über 2 Felder. 152.
- , — —, Fachwerkträger. 162.
- , — —, Vollwandträger. 160.
- , — —, Einfluß der Füllungslieder. 162.
- , — —, Formeln für das Eigengewicht. 145.
- , — —, unveränderliche Höhe. 156, 157.
- , — —, Querschnitt unveränderlich. 145.
- , — —, getrennte Balken über 2 Öffnungen. 148.
- , — —, Querschnitt veränderlich. 156.
- , — —, durchlaufende Träger auf vier Stützen. 154, 155.
- , — —, mit Momenten-Nullpunkt im Mittelfeld. 156.
- , — —, mit Querkraft-Nullfeld über Pfeiler. 155.
- , — —, durchlaufende Träger über 2 Felder. 150, 151.
- , — —, Schwedlersche. 91, 151.
- , — —, Stützhöhe, Einfluß der ungleichen. 164.
- , — —, Stützenüberhöhung gegen Aufkippen. 164.
- , — — —, zur Erzielung gleicher Größtmomente. 165.
- , — — —, kleinsten Eigengewichtes. 167.
- , — — —, größte zulässige. 167.
- , — —, Träger über eine Öffnung mit überhängenden Enden. 149.
- , — —, Träger mit 2 ungleich großen Spannweiten. 157.
- , — — —, genauere Berechnung. 158.
- , — —, Überhöhung der Endstützen. 164, 165.
- , — —, Wärme, Einfluß der —. 167.
- , Baustoff der Hauptträger der. 113, 193.
- , mit Blechträgern. 116.
- , bewegliche Stützen am Drehpfeiler. 96.
- , Bewegungskraft. 120.
- , Bewegungsvorrichtungen. 120, 214.
- Drehbrücken, Bremsvorrichtungen. 138.
- , Buffer. 138.
- , —, Wasserdruck-. 139, 191.
- , bewegt durch Dampfkraft. 121.
- , durch Druckwasser. 122.
- , durch Elektrizität. 124, 209.
- , durch Benzinmotoren. 200.
- , durch Gas- oder Petroleummotoren. 125, 187.
- , durch Turbinen. 176.
- , selbsttätig. 126.
- , vor dem Drehen am Mittelzapfen frei gemachte. 107.
- , Drehpfeiler. 143.
- , Drehschemel. 197.
- , Drehzapfen. 172.
- , mit beweglichem Drehzapfen. 103.
- , mit Druckwasserhebekolben. 97, 184.
- , —, Berechnung. 183.
- , Druckwasserflaschenzug. 191.
- , Druckwasserflüssigkeits-Sicherung gegen Frost. 191.
- , Duedalben an denselben. 145.
- , Durchdrehen der. 123.
- , mit durchlaufenden Trägern. 117.
- , einarmige. 88, 217.
- , einteilige und zweiteilige. 88.
- , elastische Prellvorrichtungen. 201.
- , Endauflagerung, Hubspindeln. 209, 214.
- , —, Keile. 179.
- , —, Druckwasser-Pressen daselbst. 183.
- , —, Kniehebel. 181.
- , —, Kurbelzapfen. 178.
- , —, Schraubenwinden. 180.
- , —, Unrunde Scheiben. 178.
- , Feststellung der Trägerenden. 99.
- , Feststellvorrichtungen. 136.
- , —, Fallen am Widerlagermauerwerk. 211.
- , —, Klinken am langen Armende. 188.
- Flüssigkeits-Druck zum Heben und Drehen. 104.
- , von Flusseisen. 115.
- , Freimachen vor dem Aufdrehen. 99.
- , Gegengewicht (Ballast). 201, 211.
- , geneigte Haupttragwände. 191.
- Drehbrücken, Gleitlager. 204.
- , Glycerin als Druckflüssigkeit. 191.
- , —, dessen Sicherung gegen Frost. 191.
- , gleicharmige und ungleicharmige. 88, 110.
- , Grundrifsanordnung. 89.
- , gußeiserne. 113.
- , gußstählerne. 113.
- , von Hand bewegte. 120, 187.
- , Heben und Senken der Trägerenden. 99.
- , Hinzufügen des zweiten Gleises. 89.
- , Höhe des Drehzapfens und der Auflager. 93.
- , Höhenregelung der Hubspindeln. 210.
- , hölzerne. 113.
- , Holzgerüste vor und hinter dem Drehpfeiler. 144.
- , Hubspindeln. 209, 214.
- , Kipplager. 194.
- , Klinken. 136.
- , Konstruktionsformen der Hauptträger. 117.
- , Konstruktionsleitgedanke. 88.
- , Kosten. 197, 199, 215.
- , Kraftsammler. 186, 191, 197.
- , Laufkranz. 170, 172.
- , Laufkugeln. 170.
- , Laufräder. 91, 171, 211.
- , Laufrollen. 170.
- , Leitwerke, hölzerne. 144.
- , lotrecht bewegliche, als Hebepressen ausgebildete Drehzapfen. 184, 194.
- , Maschinen- und Kesselanlage zur Gewinnung der Druckflüssigkeit. 197.
- , Nachstellen der Trägerenden für bestimmte Stützendrücke. 106.
- , Pfeiler. 143.
- , — von Eisen. 144.
- , — von Holz. 144.
- , — von Stein. 143.
- , Pendelaufleger. 189, 194, 204.
- , Pendelschlitten. 191.
- , Petroleummotor als Ersatzmotor. 187.
- , Pontondrehbrücke. 198.
- , —, Kosten. 198.
- , —, Schwimmkörper. 198.
- , Prahmdrehbrücke. 198.
- , —, Kosten. 199.
- , Prefskolben. 175.

- Drehbrücken, Pumpstation mit Ausstattung. 186.
- , Querschnitt. 89.
- , Querkraft-Nullfeld im Pfeilerfach. 102.
- , Querverbände. 120.
- , Riegel. 136.
- , mit oder ohne Rollkranz. 90.
- , Rückgängigmachen der elastischen Durchbiegung nach dem Eindrehen. 100.
- , Schwedler'sche. 92.
- , schmiedeeiserne. 113.
- , Signalvorrichtungen. 138.
- , Spielraum an den Trägerenden. 99.
- , Stahldrahtkabel. 191, 216.
- , —, Führungskranz hierfür. 191.
- , —, Längen der Kabel. 216.
- , Stellung des Drehzapfens, achsial oder nicht achsial. 89.
- , Steuerung beim Drehen und Heben durch Druckwasser. 191.
- , —, zum Drehen, Heben und Kippen. 195.
- , Stützlager unter den Mitten der Hauptträger. 96.
- , Träger mit durchbrochenen Wandungen. 116.
- mit Trägern nach Pröll und Scharowsky. 118.
- , Trägerform. 117.
- , Trennungsfuge am Zusammenschluß bei Doppeldrehbrücken. 213.
- , Tragrollen und Kugeln. 170.
- , Verbindung des Brückendeckungssignals mit dem Zughebel. 141.
- , Verhältnis der Trägerhöhe zur Armlänge. 117.
- , Verkehrslasten, anzunehmende. 147.
- , Verriegelung an den Brückenden. 100.
- , —, beider Flügel der Doppeldrehbrücken. 137.
- , —, —, an der Stosfuge. 103.
- , —, verbunden mit der Steuerung. 197.
- , Vorrichtung zur Arbeitsverminderung beim Heben. 105.
- , —, zum Heben der Trägerenden. 101.
- mit Wasserauftrieb. 98.
- , durch Wasserdruck bewegte. 122.
- Drehbrücken, Wassertrog bei Schiffsdrehbrücken. 218.
- , Windkreuze. 120.
- , Windschürzen. 184.
- , Zahnkranz bei. 204.
- , durch Zahnradvorgelege bewegte. 121.
- , Zeitaufwand zum Bewegen der. 197, 207, 211.
- Drehen der Drehbrücken mit Wasserdruck. 104.
- Drehmoment der Endauflagerung bei Drehbrücken. 179.
- Drehpfeiler. 143.
- Drehvorrichtung bei Drehbrücken, Berechnung. 129.
- Drehzapfen mit Auflager, Höhe. 93.
- , Berechnung. 176.
- , bewegliche. 103.
- , bei Drehbrücken. 172.
- , —, Stellung derselben, achsial oder nicht achsial. 89.
- , —, schwimmende. 176.
- Duedalben. 145.
- Durchlafsglieder bei schwimmenden Brücken. 252.
- Durchlaufende Träger bei Drehbrücken. 117.
- — —, Berechnung. 150, 151, 156, 158, 160.
- — —, Theorie. 267.
- Druckhaupt bei Drehbrücken, Berechnung. 177.
- Eigengewicht der Hauptträger der Drehbrücken. 145.
- —, der Klappbrücken. 53.
- —, der Kranbrücken. 238.
- Einteilung der beweglichen Brücken. 1.
- Endauflagerung bei Drehbrücken. 178.
- Fährbrücken. 255.
- , Anordnung der Tragbrücke. 255.
- , ausgeführte. 257.
- , Bewegungsmechanismus. 256.
- , Bühne der. 255.
- , Kosten. 257.
- , Kraftbedarf. 256.
- Fähren, hängende. 13.
- Faltbrücken. 47.
- , Berechnung der. 83.
- , Konstruktion. 83.
- , Konstruktionsgrundgedanke. 47.
- Festhalten der Enden der Drehbrücken. 100.
- Feststellvorrichtungen bei Drehbrücken. 136.
- , bei Klappbrücken. 65.
- Fingervorrichtung bei Klappbrücken. 65, 71.
- Floßbrücken. 242.
- Form der Brückenschiffe. 242.
- Form der Hauptträger bei Drehbrücken. 117.
- — bei Kranbrücken. 238.
- Freimachen der Drehbrücken vor dem Aufdrehen. 99.
- Füllungsglieder der Drehbrücken, Berechnung. 162, 284.
- Fuge zwischen der Klappenfahrbahn und der festen Fahrbahn. 66.
- Gegengewicht bei Drehbrücken. 201, 211.
- , bei Klappbrücken. 56.
- Grundrifsanordnung der Drehbrücken. 89.
- Hakenbolzen bei Klappbrücken. 65.
- Halsbänder bei Kranbrücken. 238.
- Handbewegung bei Drehbrücken. 120.
- Hauptquerträger der Drehbrücken, Berechnung. 176.
- Hauptträger der Drehbrücken, Anzahl. 90.
- —, Berechnung. 145.
- —, Eigengewicht. 145.
- der Klappbrücken, Anzahl. 49.
- Heben der Drehbrücken mit Wasserdruck. 104, 108.
- Heben und Senken der Enden der Drehbrücken. 99.
- Hemmvorrichtung bei Drehbrücken. 138.
- Höhe der Hauptträger bei Drehbrücken. 116.
- Holzgerüste an den Drehpfeilern. 144.
- Hubbrücken. 19.
- , ausgeführte. 32.
- , Berechnung der Bewegungskraft. 31.
- , Beschreibung neuerer ausgeführter. 23.
- , Bewegungskraft. 31.
- mit beweglichen Hauptträgern. 19.

- Hubbrücken mit festen Hauptträgern. 29.
 — mit hohen Lagertürmen. 21.
 —, Kosten der. 23, 24.
 —, Parallelsteuerung der Hebelkolbenbewegung bei. 23.
 —, Wasserdruckbuffer bei. 22.
- J**oche bei schwimmenden Brücken. 249.
- K**eile bei der Endauflagerung der Drehbrücken. 179.
- Keilverschluss der Joche schwimmender Brücken. 251.
- Kettenstärken für Schiffbrücken. 247.
- Klappbrücken. 47.
 —, ausgeführte. 84.
 —, Anordnung der Hauptträger. 48.
 —, Ankerschleife am Schwanzende. 71.
 —, Anschluß der Klappenfahrbahn an die feste Brücke. 65.
 —, Anzahl der Hauptträger. 49.
 —, Baustoff. 53.
 —, Berechnung der Hauptträger. 54.
 —, — einer Drehachsenlagerung mit Walzen und Kugeln. 58.
 —, Beschreibung neuerer ausgeführter. 66.
 —, — amerikanischer Rollklappbrücken. 74.
 —, Bewegungsmechanismus. 58, 61.
 —, Daumen zur Übertragung des Druckes. 65.
 —, Doppelklappbrücken. 50.
 —, Drehachse. 57.
 — mit beweglicher Drehachse. 47.
 — mit fester Drehachse. 47.
 —, einfache. 50.
 —, doppelte, mit stemmenden Klappen. 50.
 —, —, mit voneinander unabhängigen Klappen. 50.
 —, Eigengewicht der Hauptträger. 53.
 —, Feststellvorrichtungen. 65.
 —, Finger am Klappenzusammenschluß. 71.
 —, freier Raum unter der Hinterklappe. 48.
 —, Fuge, zwischen der Brückenfahrbahn und der festen Fahrbahn. 66.
- Klappbrücken, Gegengewicht. 56.
 —, Gewichtsausgleichung der Klappen. 64, 72, 76.
 —, Glycerin als frostsichere Druckflüssigkeit. 73.
 —, Hakenbolzen. 65.
 —, Konstruktionsform. 53.
 —, Konstruktionsgrundgedanke. 47.
 —, Kosten. 69, 71, 74.
 —, Kraftbedarf. 64.
 —, Kraft zur Bewegung. 58, 64.
 —, Kraftsammler. 69, 73, 74.
 —, Leitkurve, Bestimmung deren Form bei amerikanischen Klapprollbrücken. 76.
 —, maschinelle Ausrüstung großer Doppelklappbrücken. 69, 71.
 —, Regelbarkeit des Gegengewichtes. 65, 71.
 —, Riegel bei Doppelklappbrücken. 66.
 —, Schwerpunktlage der Klappen. 69, 72.
 —, Stahlgußplatten als Fahrbahntafel. 66, 72.
 —, Verminderung der Reibung durch Rollenlager. 64.
 —, Wasserdruck als Betriebsmittel. 62, 67, 69, 72, 83.
 —, Unterstützung der Hauptträger. 48, 50.
 —, Zeit zur Bewegung. 58, 67, 71.
- Klinken bei Drehbrücken. 136, 138.
- Kniehebel an den Endauflagerungen der Drehbrücken. 181.
- Königsstuhl bei Drehbrücken. 95, 99, 201, 204, 216, 218.
- Konstruktionsform der Hauptträger der Drehbrücken. 113.
 — — der Rollbrücken. 17.
 — — der Klappbrücken. 53.
- Konstruktionsleitgedanke der Drehbrücken. 88.
 — der Klappbrücken. 47.
 — der Rollbrücken. 3.
 — der Zugbrücken. 35.
- Kosten der Drehbrücken. 197, 215.
 —, Faltbrücken. 79.
 —, Klapp- u. Schaukelbrücken. 77.
 —, Kranbrücken. 239.
 —, Rollbrücken. 7, 9, 12, 16.
 —, Zugbrücken. 38.
- Kraft zur Bewegung der Drehbrücken. 121.
 — — der Fährbrücken. 256.
 — — der Hubbrücken. 31.
- Kraft zur Bewegung der Klappbrücken. 58, 64.
 — — der Rollbrücken. 14.
- Kranbrücken. 236.
 —, Bewegungsvorrichtung. 238.
 —, Halsbänder. 238.
 —, Hauptträger, Berechnung. 238.
 —, —, Eigengewicht. 238.
 —, —, Form. 238.
 —, Kosten. 239.
 —, Querverbindungen. 238.
 —, Uferpfeiler. 239.
 —, Wendesäulen. 238.
- Kreuzverband, liegender bei schwimmenden Brücken. 248.
 —, stehender ebendasselbst. 248.
- Kriegsbrücken. 260.
 —, ausgeführte. 261.
- Kurbelzapfen als Endauflagerung der Drehbrücken. 178.
- L**andungsbrücken. 257.
 —, Ausrüstung der. 259.
 —, Pendeljoche. 258.
- Längsverbindung der Joche bei schwimmenden Brücken. 251.
- Laufkranz auf den Drehpfeilern. 170, 172.
- Laufkugeln bei Drehbrücken. 170.
- Laufräder b. Drehbrücken. 91, 171.
- Laufrollen bei Drehbrücken. 170.
- Leitwerke bei Drehbrücken. 144.
- Lichtweite der Durchlafsglieder schwimmender Brücken. 252.
- Luftprefsmaschine für schwimmende Brücken. 253.
- M**ittelpfeiler der Drehbrücken. 143.
- Motor für die Durchlafsglieder schwimmender Brücken. 253.
- P**arallelsteuerung bei Hubbrücken. 23.
- Pendeljoche bei Landungsbrücken. 258.
- Pendellager. 189, 194, 204.
- Pendelschlitten bei Drehbrücken. 191.
- Pfeiler der Drehbrücken. 143, 144.
 — — von Eisen. 144.
 — — von Holz. 144.
 — — von Stein. 143.
 — der Kranbrücken. 239.
- Ponton. 242, 247.
 —brücke. 247.
 —drehbrücke. 198.
 —, wasserdichte Abteilung der. 249.

- Prähm. 242.
 —, Drehbrücke. 198.
- Querkräfte** bei Drehbrücken. 149, 152, 157, 273.
 —kraft-Nullfeld bei Drehbrücken. 102.
- Querschnitt der Drehbrücken. 89.
 — —, Berechnung. 156.
- Querverbindungen der Drehbrücken. 120.
 — der Kranbrücken. 238.
- Rampen** für schwimmende Brücken. 253.
- Rekuperator (Barret'scher) bei Drehbrücken. 109.
- Regelung der Ankerketten bei Schiffbrücken. 248.
- Riegel bei Drehbrücken. 136.
 — bei Klappbrücken. 65.
- Röddebalken an schwimmenden Brücken. 251.
- Rollbrücken. 3.
 —, ausgeführte. 14.
 —, Berechnung der Hauptträger. 16.
 —, Bewegungskraft. 14.
 —, Bewegungsverrichtungen. 14.
 — mit Fahrbahn oben. 3.
 — mit Fahrbahn unten. 5.
 — mit festen Stützrollen. 16.
 — mit festliegenden Hauptträgern und angehängter Fahrbahn. 13.
 — mit längs- und höhenverschieblicher Fahrbahn. 9.
 — mit Stützstreben. 10.
 — mit verschieblichem Tragwerk bei fest eingebauter Fahrbahn. 11.
 — mit Hebung des Brückenendes vor dem Zurückschieben. 6.
- , Konstruktionsformen der Hauptträger. 17.
 —, Konstruktionsgrundgedanke. 3.
 — mit Laufrollen. 16.
 — mit Stützstreben. 10.
 —, System Armstrong. 6.
 —, — Kerviler. 8.
 —, Zugkraft. 16.
- Rollfähren. 12.
- Rollkranz der Drehbrücken. 90.
- Schaukelbrücken** (Rollklappbrücken), amerikanische. 77.
 —, Maschinenanlage. 77.
- Schaukelbrücken, Nebenanlagen. 77, 78.
 —, Kosten. 77.
 —, kreisförmige Führungswangen. 77.
 —, Prefsluftbetrieb der Nebenanlagen. 77.
 —, Riegel in Brückenmitte. 77.
 —, Schuhe mit Laufbahn. 77.
 —, Schwanzbügel. 77.
 —, System Erikson. 81.
 —, — Page. 81.
 —, — Scherzer. 77, 78, 80, 81.
 —, — Schinke. 79.
 —, selbsttätige Bremse. 77.
 —, Zahnstangenbetrieb. 77.
- Schellbänder bei Kranbrücken. 238.
- Schiebebrücken. 3.
- Schiffbrücken, siehe schwimmende Brücken. 241.
- Schiffsdrehbrücke. 252.
- Schraubenspindeln an den Rampen schwimmender Brücken. 254.
- Schwebefähre. 256.
 —bewegungsmechanismus. 256.
 —bühne. 257.
 —, Kraftbedarf. 256.
- Sch wedler'sche Drehbrücken. 92.
 — —, Berechnung. 151.
- Schraubenwinden an den Endauflagerungen der Drehbrücken. 180.
- Schwimmende Brücken. 241.
 —, Anfahrten. 253.
 —, Ankerkettenwinde. 252.
 —, Anschluß der Rampen. 253.
 —, Brückenschiffe. 242.
 —, —, Anzahl derselben. 248.
 —, —, Verankerung. 247.
 —, Bockgerüste. 254.
 —, Durchlafglieder. 252.
 —, Motor für die —. 253.
 —, liegender Kreuzverband. 248.
 —, stehender Kreuzverband. 248.
 —, Joche. 249.
 —, —, Längsverbindung der —. 249, 251.
 —, Prähme 242, 248.
 —, Überbau. 249.
- Schwimmende Stützen. 241.
 —, Abmessungen. 241.
 —, Anzahl. 241, 248.
 —, Baustoff. 242, 244.
 —, Form. 241.
 —, Verankerung. 241, 247.
 —, Vorteile. 242.
- Schwimmende Flöße. 242.
- Sicherung der Druckflüssigkeiten gegen Frost. 191.
- Signalvorrichtungen bei Drehbrücken. 138, 139.
- Sinusoiden-Zugbrücke. 38.
- Spanten. 244.
- Spielraum an den Enden der Drehbrücken. 99.
- Spurzapfen bei Kranbrücken. 238.
- Steven. 244.
- Stützen, bewegliche am Drehpfeiler der Drehbrücken. 96.
 — bei schwimmenden Brücken. 241.
- Stützhöhe bei den Drehbrücken, Berechnung. 164.
- Stützenüberhöhung bei Drehbrücken. 165, 167.
- Stützlager für Drehbrücken. 96.
- Stützspindeln für Drehbrücken. 209.
 —, für Hubbrücken. 26.
- Tabellarische** Zusammenstellung ausgeführter Drehbrücken. 226.
 — Hubbrücken. 32.
 — Klapp-, Falt- und Schaukelbrücken. 84.
 — Roll- und Schiebebrücken. 14.
- Tabellen zur Berechnung der Drehbrücken. 273.
- Trägerauflager für Drehbrücken, nachstellbare. 101.
- Tragkugeln und Rollen bei Drehbrücken. 170.
- Treideln der Schiffbrücken. 242.
- Überbau** schwimmender Brücken. 249.
- Überrollbrücke. 5.
- Uferpfeiler bei Kranbrücken. 239.
- Unrunde Scheiben, als Endauflagerung für Drehbrücken. 178.
- Unterrollbrücke. 6.
- Unterstützung der Hauptträger bei Klappbrücken. 48.
 — des Überbaues schwimmender Brücken. 249.
- Verankerung** der Brückenschiffe. 241, 247.
- Vergleich d. verschiedenen Systeme beweglicher Brücken. 262.
- Verkehrslast bei Drehbrücken. 147.
- Verminderung der Reibung durch Rollenlager. 64.
- Vorrichtung zur Arbeitsverminderung beim Heben der Drehbrücken. 105.

- Vorrichtung zum Heben der Trägerenden. 101.
- W**ärme, Einfluß der — auf Drehbrücken. 122.
- Wasserdruckbuffer b. Drehbrücken. 138.
- bei Hubbrücken. 22.
- zur Bewegung der Drehbrücken. 122.
- Wendesäulen bei Kranbrücken. 238.
- Winden für schwimmende Brücken. 252.
- Windkreuze der Drehbrücken. 120.
- Windschürzen bei Drehbrücken. 184.
- Z**ahnkranz bei Drehbrücken. 204.
- Zahnradvorgelege bei Drehbrücken. 121.
- Zerlegbare Brücken. 260.
- , ausgeführte. 261.
- , Baustoff. 261.
- , Konstruktionsgrundgedanke. 261.
- Ziehbaum. 36, 37.
- Zugbrücken. 35.
- , Anwendung. 35.
- , Baustoff. 37.
- , Doppelzugbrücken, amerikanische. 44.
- , einflügelige. 35.
- , zweiflügelige. 35.
- Zugbrücken mit gleichbleibendem Gegengewicht. 36.
- mit veränderlichem Gegengewicht. 42.
- , Konstruktionsgrundgedanke. 35.
- , als Teile einer Doppeldrehbrücke. 115.
- , Sinusoidenbrücke. 38.
- , —, Bewegung der —. 41.
- mit Spiralrädern. 41.
- mit Ziehbäumen. 36.
- —, ausgeführte. 37.
- Zugkraft bei Rollbrücken. 16.
- Zweck der beweglichen Brücken. 1.

Druckfehlerverzeichnis.

- S. 1, Z. 8 v. o. statt 261 Textfiguren lies 262 Textfiguren.
- S. 16, Z. 6 v. u. statt Textfig. 15 lies Textfig. 14.
- S. 17, Z. 12 u. 13 v. o. statt *gl* lies $\tau \cdot gl$.
- S. 34, Z. 3 v. u. Nr. 25 fehlt: 1902.
- S. 58, Z. 15 v. u. statt $\frac{d + d_k}{c + d_k}$ lies $\frac{(c + d_k) 2}{d + d_k}$.
- S. 58, Z. 9 v. u. statt $\frac{533 + 113}{6,4 + 113}$ lies $\frac{(6,4 + 113) 2}{533 + 113}$.
- S. 88, Z. 6 v. o. Nr. 47 fehlt: Zeitschr. d. Ver. deutscher Ing. 1903, S. 1830 mit Abb.
- S. 88, Z. 21 v. o. streiche: Textfig. 193.
- S. 100, Z. 5 v. u. statt Textfig. 63 lies 93.
- S. 105, Z. 11 v. o. statt Fufsringen lies Fußswegen.
- S. 106, Z. 11 v. u. statt $(A + Q) r^2$ lies $(A + K) r^2$.
- S. 107, Z. 2 v. o. statt $K \frac{1}{3} (\varphi - \delta)^2$ lies $K \frac{1}{6} (\varphi - \delta) \delta$.
- S. 146, Fig. 139 *b* fehlt am Schnittpunkt der Pfeilerlotrechten mit der ausgezogenen Kurve der Buchstabe *C'*.
- S. 225. Nachtrag: Nr. 207. Mehring. Eisenbahn- und Strafenbrücke über den Oberhafen in Hamburg. Zeitschr. f. Bauw. 1907, S. 42 mit Taf. 14—19.

Atlas

zum

Handbuch des Brückenbaues.

Vierte Abteilung.

Dritte vermehrte Auflage.

Inhalt.

- Tafel I. Eisenbahndrehbrücke bei Osterrönfeld, Fig. 1 u. 2 (vergl. Textfig. 166—178 u. 180—181. — Eiserner Fährprahm vom Kaiser Wilhelm-Kanal, Fig. 3—6. — Drehbrücke über den Weaverfluß bei Wunnington, Fig. 7—9. — Pontonbrücke über den Dünastrom bei Riga, Fig. 10—14. Drehbrücke an der unteren Hafemündung in Ludwigshafen, Fig. 15—19 (vergl. Textfig. 210—212).
- „ II. Doppeldrehbrücke (Herrenbrücke) bei Lübeck, Fig. 1—5 (vergl. Textfig. 202—209 u. Taf. III, Fig. 15—19). — Fußgängerdrehbrücke Reiherstieg, Fig. 6—8 (vergl. Textfig. 192). — Drehbrücke in dem Industriehafen zu Mannheim, Fig. 9—12 (vergl. Textfig. 198—201).
- „ III. Drehbrücke Neuhof, Fig. 1—7 (vergl. Textfig. 188—191). — Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfafl, Fig. 8—10 (vergl. Textfig. 185). — Drehbrücke über die Lothse bei Harburg, Fig. 11—14. — Doppeldrehbrücke (Herrenbrücke) über den Durchstich der Trave bei Lübeck, Fig. 15—19 (vergl. Textfig. 202—209 und Taf. II, Fig. 1—5).
-

Bewegliche Brücken.

Fig. 1-2. Eisenbahndrehbrücke b. Osterröndfeld. M.1:400.

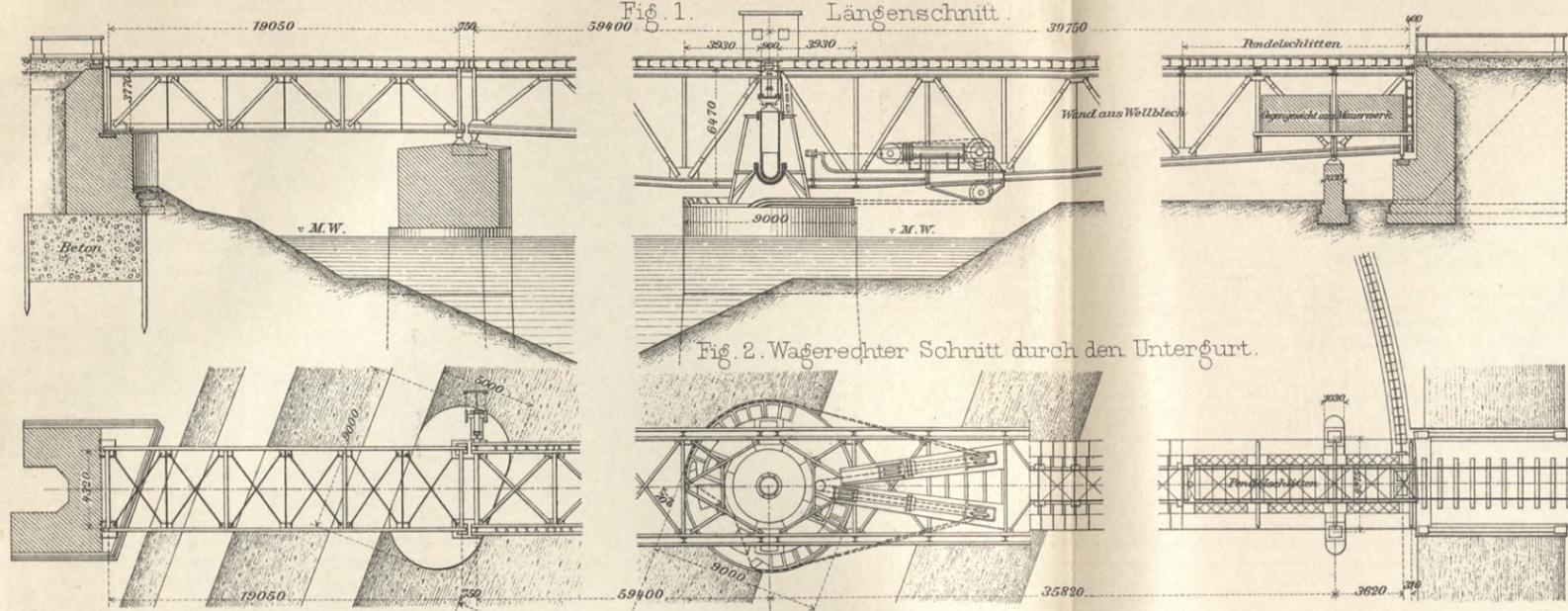


Fig. 3-6. Eiserner Fahrprahm vom Kaiser Wilhelm-Kanal. M.1:100.

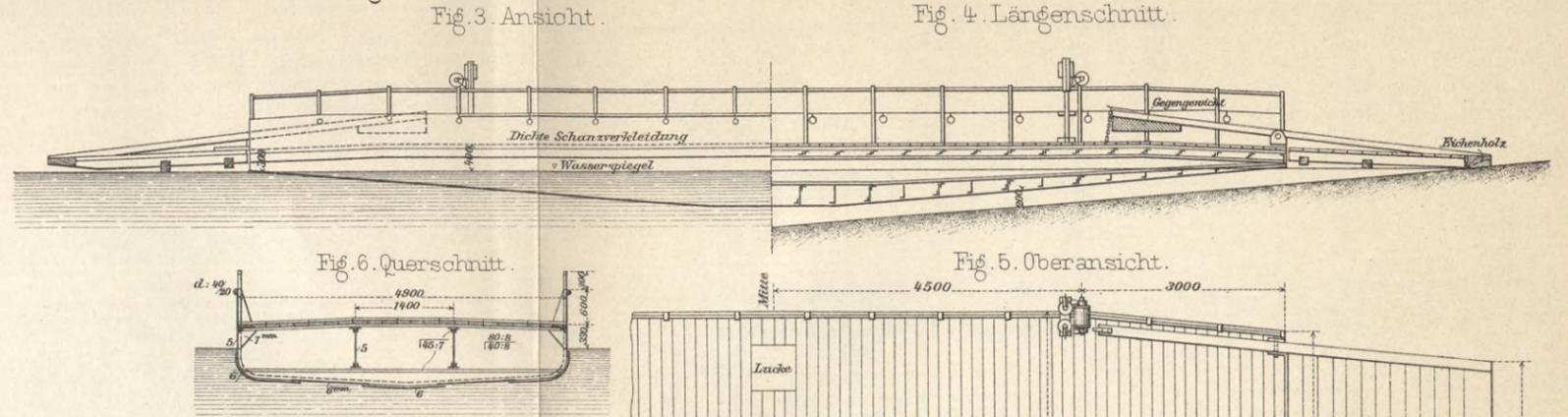


Fig. 7-9. Drehbrücke über den Weaverfluss bei Winington. M.1:150.

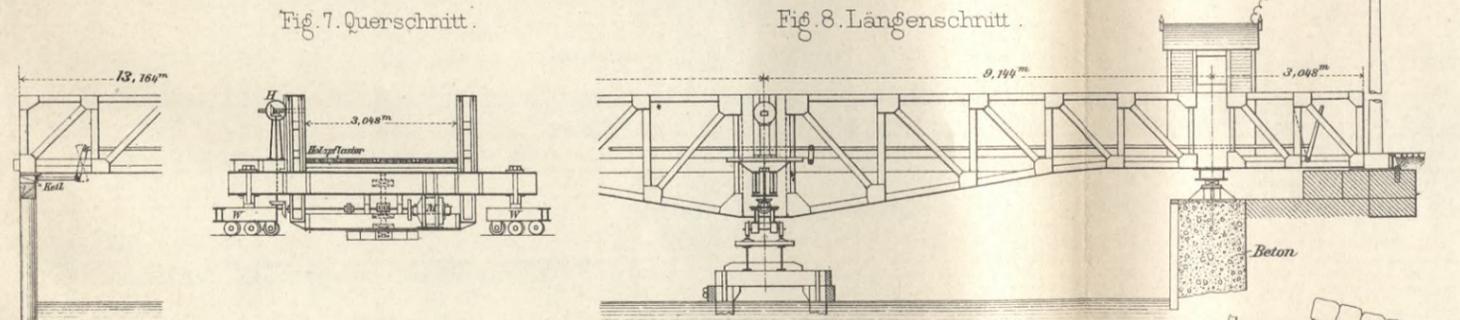


Fig. 10-14. Pontonbrücke über den Dünaström bei Riga. M.1:300.

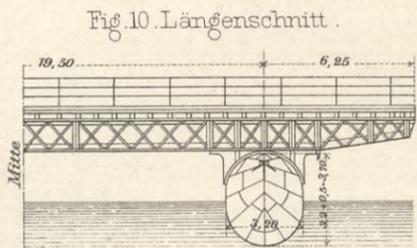


Fig. 11. Grundriß.

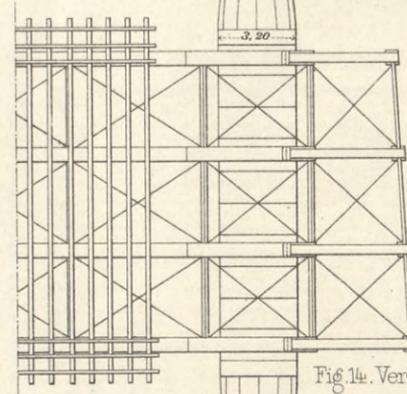


Fig. 14. Verbindung der Brückenelemente. M.1:60. Schnitt a a.

Fig. 15-19. Drehbrücke an der unteren Hafeneinfahrt in Ludwigshafen. Bewegungsmechanismus. M.1:40.

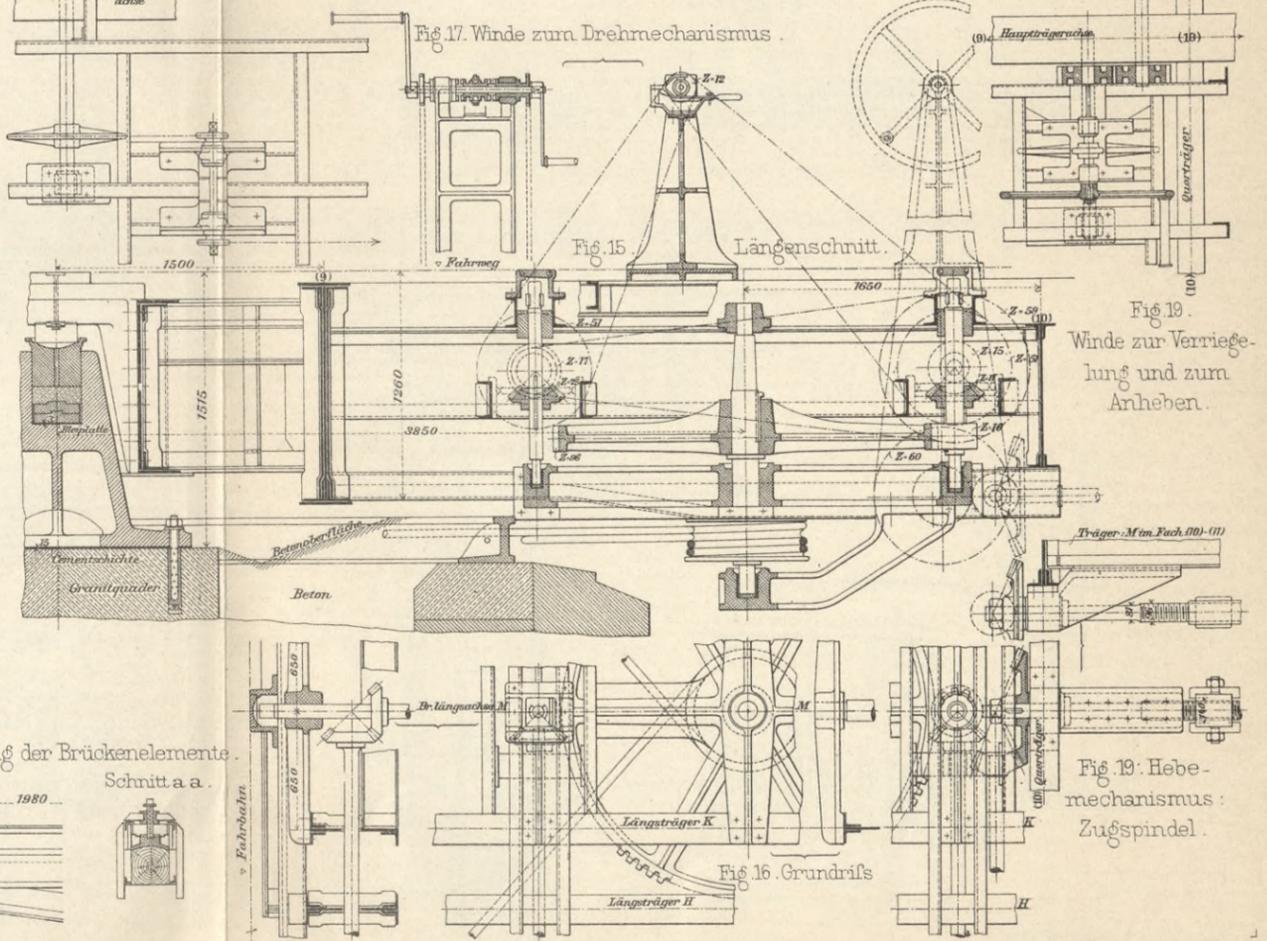


Fig. 19. Hebe-mechanismus: Zugspindel.

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

Bewegliche Brücken.

Fig. 1-7. Drehbrücke „Neuhof“ Endquerrahmen. M.1:80.

Fig. 1. Querschnitt oben.

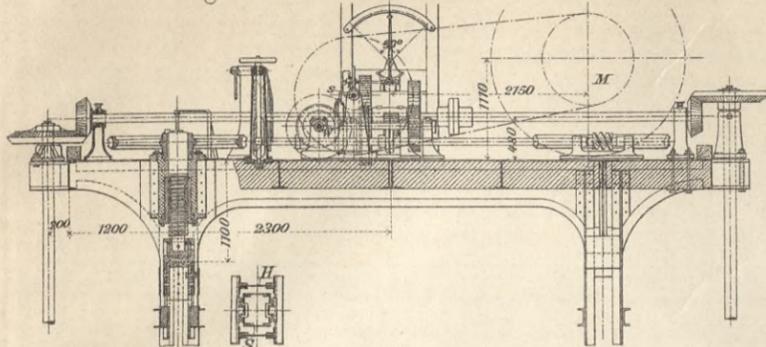


Fig. 2. Längenschnitt oben.

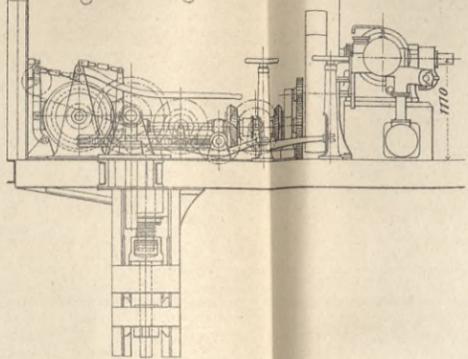


Fig. 10. Normaler-Querschnitt.

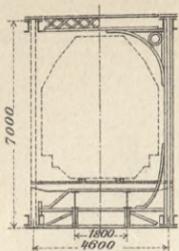


Fig. 8-10. Eisenbahndrehbrücke bei Taterpfahl. M.1:250.

Fig. 8. Längenschnitt.

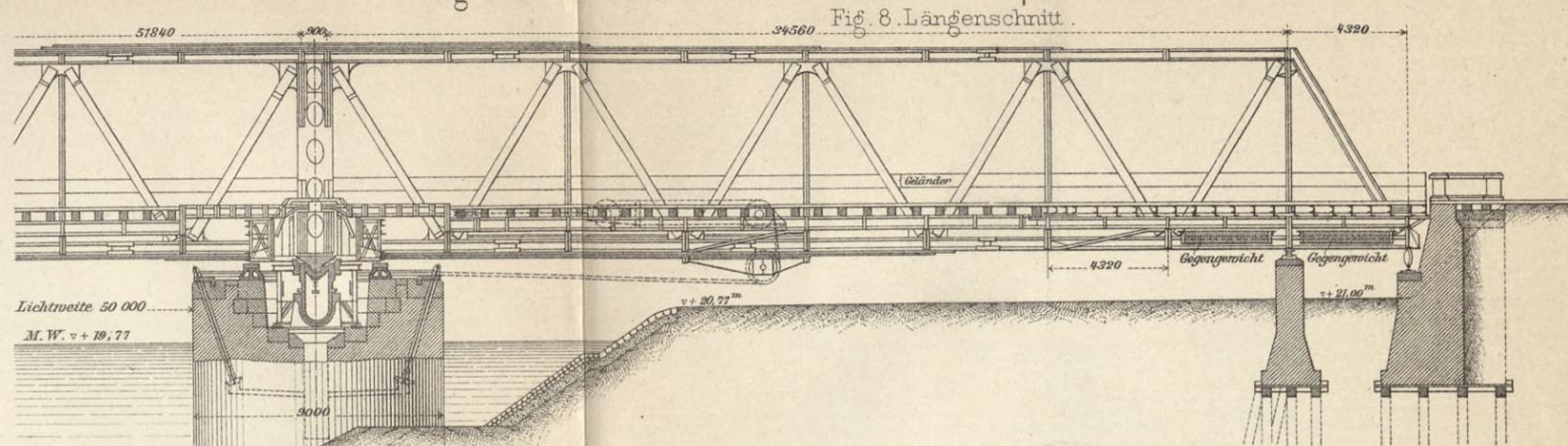


Fig. 3. Grundriss oben.

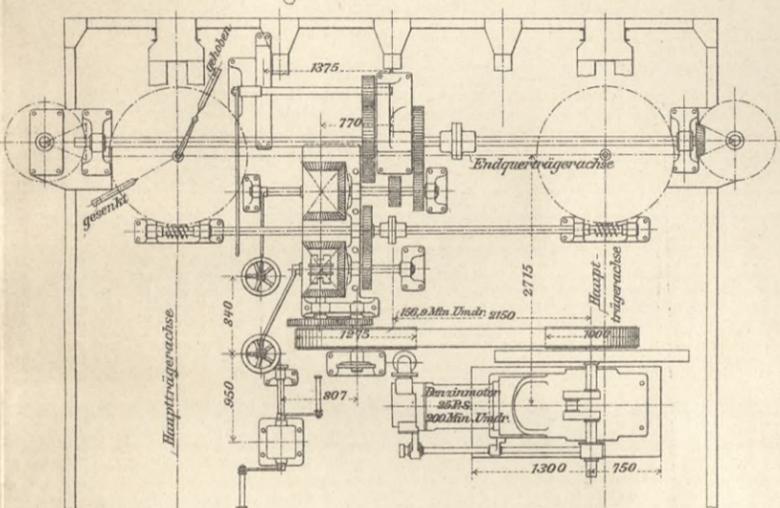


Fig. 4. Querschnitt unten.

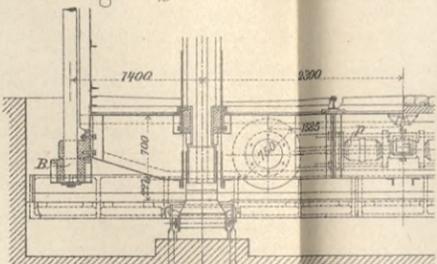


Fig. 5. Längenschnitt unten.

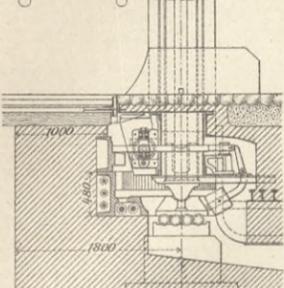


Fig. 9. Grundriss.

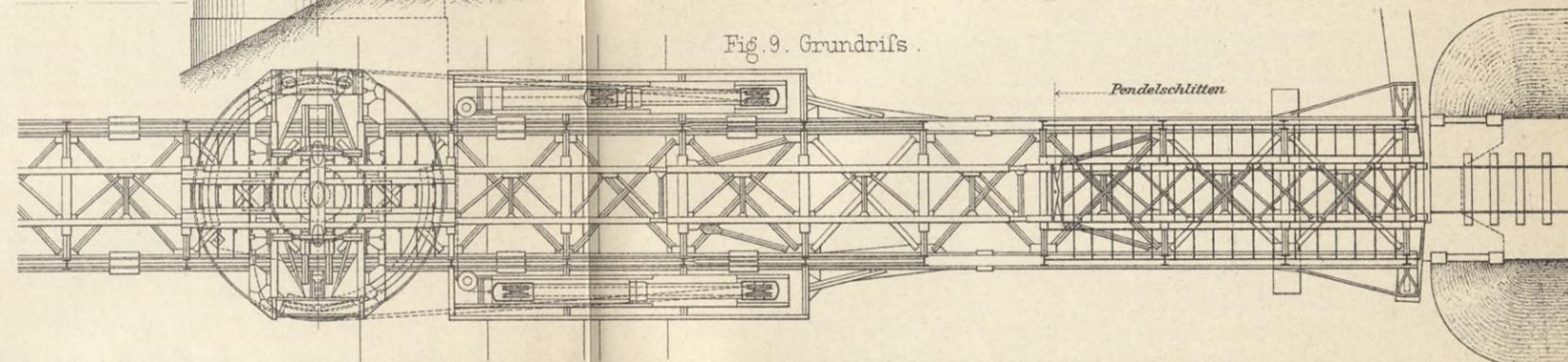


Fig. 6. Grundriss unten.

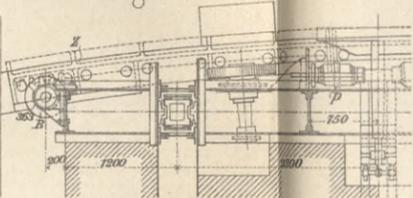


Fig. 7. Handantrieb.

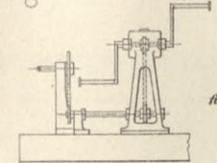


Fig. 15-19. Herrenbrücke (Doppeldrehbrücke) über den Durchstich der Trave bei Lübeck. M.1:250.

Fig. 16. Querschnitt.

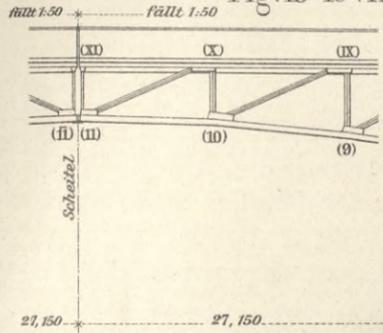


Fig. 15. Längenschnitt.

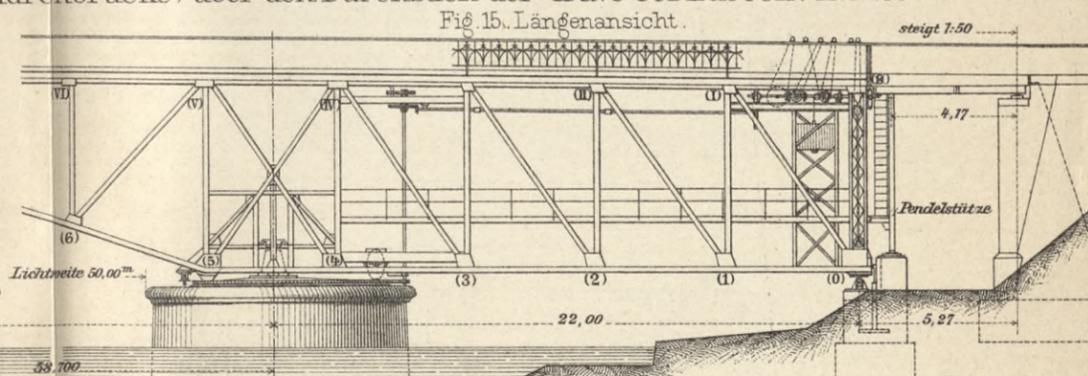


Fig. 11-14. Drehbrücke über die Lothse in Harburg. M.1:150.

Fig. 11. Querschnitt.

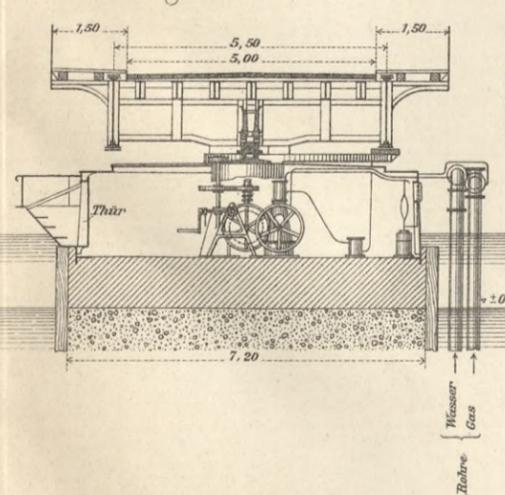


Fig. 12. Längenschnitt in Mitte.

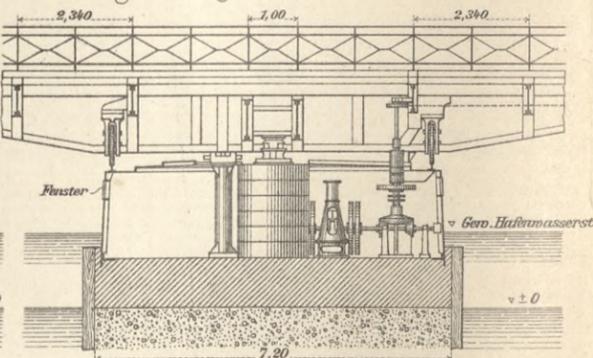


Fig. 13. Längenschnitt am Ende.

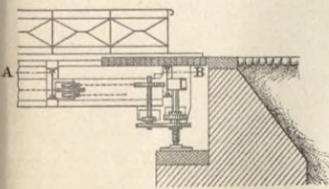


Fig. 14. Wagerechter Schnitt nach A-B.

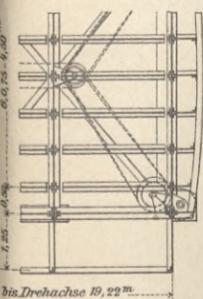


Fig. 17. Aufsicht.

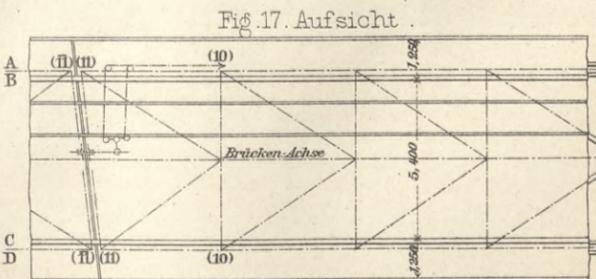


Fig. 18. Grundriss.

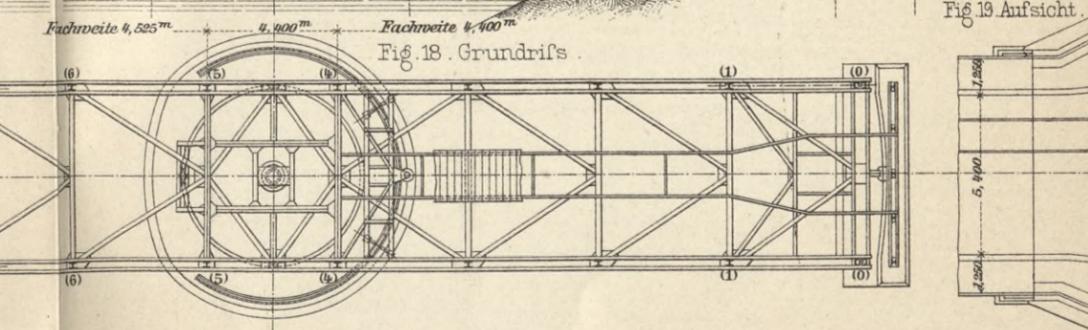
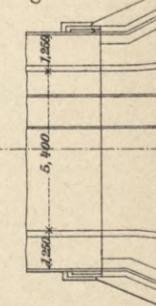


Fig. 19. Aufsicht.



BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW

19 'S

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-306597

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000298664