

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw. ....

~~26~~

Druk. U. J. Zam. 356. 10.000.

Von

Prof. Th. Janssen

Mit 40 Abbildungen



**BIBLIOTEKA**

ZWIĄZKU STUDENTÓW INŻYNIERII W KRAKOWIE

Liczba katalogu

151

\*



803

# Ingenieurbau

aus der Sammlung Göschen

- Geologie** von Prof. Dr. Edgar Daqué.  
I. Allgemeine Geologie. Mit 73 Figuren . . . . . Nr. 13  
II. Stratigraphie. Mit 56 Abbild. und 7 Tafeln . . . . . Nr. 846
- Mineralogie** von Prof. Dr. R. Brauns. Mit 132 Abb. . . . . Nr. 29
- Petrographie (Gesteinskunde)** von Prof. Dr. W. Bruhns.  
Neubearb. von Prof. Dr. P. Ramdohr. Mit 10 Figuren . . . . . Nr. 173
- Praktisches Zahlenrechnen** von Professor Dr.-Ing.  
P. Werkmeister. Mit 58 Figuren . . . . . Nr. 405
- Technische Tabellen u. Formeln** von Dr.-Ing. W. Müller.  
Mit 106 Figuren . . . . . Nr. 579
- Materialprüfungswesen.** Einführung in die moderne  
Technik der Materialprüfungen von Dipl.-Ing. K. Memmler.  
I. Materialeigenschaften. — Festigkeitsversuche. — Hilfs-  
mittel für Festigkeitsversuche. Mit 58 Figuren . . . . . Nr. 311  
II. Metallprüfung und Prüfung von Hilfsmitteln der  
Maschinenteknik. Einiges über Metallographie. Bau-  
stoffprüfung. Papierprüfung. Textiltechn. Prüfungen.  
Schmiermittelprüfung. Farben-, Lack- und Anstrich-  
mittelprüfung. Mit 30 Figuren . . . . . Nr. 312
- Statik** von Dipl.-Ing. Prof. W. Hauber.  
I. Die Grundlehren der Statik starrer Körper. Mit 82 Fig. Nr. 178  
II. Angewandte Statik. Mit 61 Figuren . . . . . Nr. 179
- Graphische Statik** mit bes. Berücksicht. d. Einflußlinien  
von Dipl.-Ing. Otto Henkel. 2 Bde. Mit 207 Fig. . . . . Nr. 603, 695
- Festigkeitslehre** von Prof. W. Hauber. Mit 56 Fig. u. 1 Taf. Nr. 288
- Aufgabensammlung zur Festigkeitslehre mit Lö-  
sungen** von Dipl.-Ing. R. Haren. Neubearb. von Dipl.-Ing.  
I. Furtmayr. Mit 43 Figuren . . . . . Nr. 491
- Hydraulik** von Prof. W. Hauber. Mit 45 Figuren . . . . . Nr. 397
- Kinematik** von Dipl.-Ing. Hans Polster. Mit 76 Abbild. Nr. 584
- Dynamik** von Dr. Wilhelm Müller. 2 Bände. Mit 121 Fig. Nr. 902, 903
- Technische Schwingungslehre** von Dr.-Ing. L. Zipperer.  
2 Bde. Mit 100 Figuren . . . . . Nr. 953, 961
- Elastizität** von Dr. Wilhelm Müller. 2 Bände. Mit 121 Fig. Nr. 519, 957
- Nomogramme** von Max Mayr. Nr. 959

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295790

<b>Graphische Darstellung in Wissenschaft und Technik</b> von Obering. Prof. Dr. M. Pirani. Mit 58 Fig. . . . . .	Nr. 728
<b>Geometrisches Zeichnen</b> von H. Becker, neubearbeitet von Prof. J. Vonderlinn. Mit 290 Figuren und 23 Tafeln . . . . .	Nr. 58
<b>Schattenkonstruktionen</b> von Prof. J. Vonderlinn. Mit 114 Figuren . . . . .	Nr. 236
<b>Parallelperspektive.</b> Rechtwinklige und schiefwinklige Axonometrie von Prof. J. Vonderlinn. Mit 121 Figuren . . . . .	Nr. 260
<b>Zentral-Perspektive</b> von Hans Freyberger, neubearbeitet von Prof. J. Vonderlinn. Mit 132 Figuren . . . . .	Nr. 57
<b>Darstellende Geometrie</b> von Prof. Dr. Robert Hausner. I. Mit 110 Figuren. II. Mit 88 Figuren . . . . .	Nr. 142, 143
<b>Die Baustoffkunde</b> von Prof. H. Haberstroh. 3 Bände. Mit 74 Figuren . . . . .	Nr. 506, 853, 854
<b>Vermessungskunde</b> von Prof. Dipl.-Ing. P. Werkmeister. I. Stückmessung und Nivellieren. Mit 140 Abbild. . . . .	Nr. 468
II. Messung von Horizontalwinkeln, Festlegung von Punkten im Koordinatensystem. Absteckungen. Mit 93 Abb. . . . .	Nr. 469
III. Trigonometrische und barometrische Höhenmessung. Tachymetrie und Topographie. Mit 61 Abbild. . . . .	Nr. 862
<b>Die Kostenberechnung im Ingenieurbau</b> von Professor E. Kuhlmann und Dr.-Ing. H. Nitzsche. Mit 5 Tafeln . . . . .	Nr. 750
<b>Die Baustoffe des Beton- und Eisenbetonbaus</b> von Prof. Otto Graf. Mit 43 Abb. . . . .	Nr. 984
<b>Baustoffverarbeitung und Baustellenprüfung des Betons</b> von Prof. Dr.-Ing. A. Kleinlogel. Mit 22 Abb. . . . .	Nr. 978
<b>Der Grundbau I: Der Baugrund und die Baugrube</b> von Privatdoz. Dr.-Ing. Joachim Schultze. Mit 58 Abbild. . . . .	Nr. 990
<b>Erdbau</b> von Reg.-Baumeister Erwin Link. Mit 72 Abbild. . . . .	Nr. 630
<b>Landstraßenbau</b> von Ober-Ing. A. Liebmann. Mit 44 Abb. . . . .	Nr. 598
<b>Stadtstraßenbau</b> von Dr.-Ing. Georg Klose. Mit 50 Abb. . . . .	Nr. 740
<b>Der Betonstraßenbau</b> von Reg.-Baumstr. a. D. Dr.-Ing. W. Petry. Mit 49 Abb. . . . .	Nr. 976
<b>Die Entwicklung des neuzeitlichen Eisenbahnbaues</b> von Dipl.-Ing. Prof. Alfred Birk. Mit 28 Abbild. . . . .	Nr. 553
<b>Die Linienführung d. Eisenbahnen</b> v. Prof. H. Wegele. Mit 58 Abbild. . . . .	Nr. 623
<b>Hochbauten d. Bahnhöfe</b> v. Eisenbahnbauinsp. C. Schwab. I. Empfangsgebäude. Nebengebäude. Güterschuppen. Lokomotivschuppen. Mit 91 Abbild. . . . .	Nr. 515
<b>Bahnhofsanlagen</b> von Prof. Dr.-Ing. H. Wegele. I. Band. Mit 92 Abb. und einer Tafel . . . . .	Nr. 989
<b>Die mechanischen Stellwerke der Eisenbahnen</b> von Oberbaurat a. D. S. Scheibner. 3 Bände. Mit 143 Abbild. u. 2 Tafeln . . . . .	Nr. 674, 688, 747
<b>Die Kraftstellwerke der Eisenbahnen</b> von Oberbau- rat a. D. S. Scheibner. 2 Bände. Mit 70 Abb. u. 1 Taf. . . . .	Nr. 689, 690

<b>Das elektrische Fernmeldewesen bei den Eisenbahnen</b> von Geh. Baurat K. Fink. Mit 54 Abbild. . . . .	Nr. 707
<b>Eisenbahnfahrzeuge</b> v. Reg.-Baumeister H. Hinnenthal.	
I. Die Dampflokomotiven. Mit 95 Abbild. und 2 Tafeln.	Nr. 107
II. Die Eisenbahnwagen und Bremsen. Mit Anhang: Die Eisenbahnfahrzeuge im Betrieb. Mit 85 Abbild. Neubearbeitet von Ad. Wolff . . . . .	Nr. 108
<b>Schmalspurbahnen</b> (Klein-, Arbeits- und Feldbahnen) v. Dipl.-Ing. August Boshart. Mit 99 Abbild. . . . .	Nr. 524
<b>Straßenbahnen</b> v. Dipl.-Ing. August Boshart. Mit 72 Abb.	Nr. 559
<b>Kolonial- und Kleinbahnen</b> v. Geh. Oberbaurat Prof. F. Baltzer.	
I. Begriff und Wesen, Kolonialbahnen Afrikas, Kleinbahnen der wichtigsten Länder u. a. Mit 7 Abbild.	Nr. 816
II. Bauliche Ausgestaltung von Bahn und Fahrzeug, Betrieb und Verkehr. Mit 22 Abbild. . . . .	Nr. 817
<b>Die allgemeinen Grundlagen des Brückenbaues</b> von Dr.-Ing. K. Schaechterle. Mit 59 Abbild. . . . .	Nr. 687
<b>Gründungen d. Brücken</b> v. Prof. Th. Janssen. Mit 40 Abb.	Nr. 803
<b>Holzbrücken</b> von Dr.-Ing. K. Schaechterle. Mit 217 Abb.	Nr. 964
<b>Eisenbetonbrücken</b> von Dr.-Ing. K.W. Schaechterle. Mit 106 Abbild. . . . .	Nr. 627
<b>Eiserne Balkenbrücken</b> von Prof. Dr.-techn. Dr.-Ing. I. Melan. Mit 93 Abbild. . . . .	Nr. 977
<b>Hydraulik</b> von Prof. Dipl.-Ing. W. Hauber. Mit 45 Fig. . . . .	Nr. 397
<b>Kreislauf des Wassers und Gewässerkunde</b> von Dr.-Ing. R. Drenkhahn. Mit 46 Abbild. u. 16 Zahlentafeln	Nr. 960
<b>Wehr- und Stauanlagen</b> von Reg.-Baurat Dr.-Ing. Paul Böß. Mit 59 Abbild und 5 Berechnungsbeispielen . . . .	Nr. 965
<b>Flußbau</b> von Reg.-Baumstr. Otto Rappold. Mit 105 Abbild.	Nr. 597
<b>Kanal- und Schleusenbau</b> von Regierungsbaumeister Otto Rappold. Mit 80 Abbild. . . . .	Nr. 585
<b>Wasserkraftanlagen</b> von Regierungsbaumeister a. D. Dr.-Ing. Th. Rümelin.	
I. Beschreibung. Mit 58 Figuren . . . . .	Nr. 665
II. Gewinnung der Wasserkraft. Mit 35 Figuren . . . .	Nr. 666
III. Bau und Betrieb. Mit 58 Figuren . . . . .	Nr. 667
<b>Meliorationen</b> von Oberbaurat Otto Fauser. 2 Bände. Mit 103 Abbild. . . . .	Nr. 691, 692
<b>See- und Hafnenbau</b> von Reg.-Baum. a. D. Franz Franzius und Marinebaurat K. Bökemann. Mit 100 Abbild. . . . .	Nr. 962
<b>Wasserversorgung der Ortschaften</b> von Prof. Dr.-Ing. Robert Weyrauch. Mit 79 Figuren . . . . .	Nr. 5
<b>Entwässerung und Reinigung der Gebäude</b> von Dipl.-Ing. Wilhelm Schwaab. Mit 92 Abbild. . . . .	Nr. 822
<b>Gas- und Wasserversorgung der Gebäude</b> von Dipl.-Ing. Wilhelm Schwaab. Mit 119 Figuren . . . . .	Nr. 412

---

Weitere Bände sind in Vorbereitung

Sammlung Göschen

# Gründungen der Brücken

Von

Professor Th. Janssen

Reg.-Baumeister u. D.

Privatdozent an der Technischen Hochschule zu Berlin

Mit 40 Abbildungen



151.

Berlin und Leipzig

Vereinigung wissenschaftlicher Verleger

Walter de Gruyter & Co.

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung — J. Guttentag, Verlags-  
buchhandlung — Georg Reimer — Karl J. Trübner — Veit & Comp.

1920



~~I 26~~

Alle Rechte, insbesondere das Übersetzungsrecht,  
von der Verlagshandlung vorbehalten.

I 301466

Akc. Nr.

~~2578~~ 51

Druck von  
C. G. Röder G. m. b. H., Leipzig.  
862619.

BPK-B-1/2017

Nr. 151



## Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorbemerkung.....	5
I. Der Baugrund.	
1. Eigenschaften der verschiedenen Bodenarten	7
2. Tragfähigkeit und zulässige Belastung ...	13
3. Die belastenden Kräfte und die Standsicherheit der Grundbauten.....	17
II. Einteilung und Arten der Gründungen .....	25
III. Die Baugrube, ihre Herstellung, Umschließung und Trockenlegung.	
1. Aushub und Herstellung der Baugrube ...	30
2. Einschließung und Abdämmung der Baugrube	32
3. Trockenlegung und Trockenhaltung der Baugrube .....	39
IV. Beschreibung der einzelnen Gründungsarten.	
1. Befestigung schlechten Baugrundes .....	47
2. Gründungen auf Beton unter Wasser .....	55
3. Gründungen auf Pfahlrost.....	58
4. Senkkasten mit unterem Boden und Schwimmpfeiler .....	71
5. Brunnengründung .....	72
6. Luftdruckgründung .....	84
7. Gefriergründung.....	103
8. Zusammengesetzte Gründungsarten .....	108
9. Sicherung der Grundbauten gegen Unterspülung.....	111
V. Die Kosten der Gründungen.....	112

## Literatur.

- Handbuch der Ingenieur-Wissenschaften, I. Teil, Bd.III.  
L. v. Willmann, Grundbau.
- Lehrbuch des Tiefbaues. Herausgegeben von H. Esselborn. Erster Band, 3. Kap. Grundbau von L. v. Willmann.
- Der Grundbau von L. Brennecke. 3. Auflage.
- Deutsches Bauhandbuch III. Teil. L. Franzius, Der Grundbau.
- Hütte des Bauingenieurs, 22. Auflage. Dritter Abschnitt. Brennecke, Grundbau.
- Osthoff, Kostenberechnung für Ingenieurbauten.
- Scheck, Verdingungsunterlagen für Vergebung von Lieferungen und Leistungen für Ingenieurbauten.
- Th. Janssen, Der Bauingenieur in der Praxis.
- Beton-Kalender.
- Zeitschrift für Bauwesen.
- Zentralblatt der Bauverwaltung.
- Deutsche Bauzeitung.

---

Die meisten der Abbildungen in dem vorliegenden Bändchen sind aus Brennecke, Grundbau entnommen.





## Vorbemerkung.

Jedes Bauwerk muß mit dem Grund und Boden in feste Verbindung gebracht, und zur Übertragung der Lasten auf den Erdboden muß eine sichere Unterlage geschaffen werden. Bei den Brücken werden die Lasten des Überbaues, Eigengewicht und Verkehrslasten, auf die Stützen, die Pfeiler übertragen und diese führen die Gesamtlasten weiter in den Erdboden. Man nennt diese Übertragung der Lasten auf den Boden, die Verbindung zwischen den Pfeilern und der Erde die Gründung der Brücken. Und da die Pfeiler standfest und unnachgiebig sein müssen, so ist die Aufgabe, der Zweck der Gründung, entweder einen festen, tragfähigen Baugrund aufzusuchen oder durch künstliche Mittel eine feste Unterlage zu schaffen. Denn die Oberfläche unserer Erde ist von sehr verschiedenartiger Gestaltung und Beschaffenheit, sie kann gleichmäßig und gleichartig oder wechselnd, fest oder weich, trocken oder mit Wasser bedeckt sein usw. Alle diese Verschiedenheiten sind zu berücksichtigen, wenn es sich um die Planung einer Brücke handelt, da für ihre Standfestigkeit die Zuverlässigkeit und Unbewegbarkeit des Grundbaues oder Fundamentes ausschlaggebend ist. Es kann sogar der Fall eintreten, daß die Bodenverhältnisse an der für die Brücke in Aussicht genommenen Stelle derartig un-

günstig sind, daß die Kosten der Gründung den geplanten Brückenbau überhaupt unwirtschaftlich machen, daß nicht die Kosten des Überbaues und der Pfeiler, sondern die Kosten der Gründung maßgebend für die Wirtschaftlichkeit und Ausführung des Brückenbaues sind.

Die erste und wichtigste Vorarbeit für die Planung einer Brücke ist daher, die Boden- und Wasser- verhältnisse an der Baustelle sorgfältig zu untersuchen und danach die erforderlichen Gründungsarbeiten festzustellen. Denn wenn auch nach dem heutigen Stande der Technik einer künstlichen Verbesserung des Bodens oder einer künstlichen Gründung kaum noch Schranken gesetzt sind, so hängt doch die Ausführbarkeit einer Gründung im allgemeinen von anderen, insbesondere wirtschaftlichen Momenten ab. Es sind in technischer Hinsicht nur zu berücksichtigen die für die Gründung zur Verfügung stehenden Hilfsmittel und Baustoffe, in wirtschaftlicher Hinsicht dagegen die Kosten der Gründung im Vergleich zu dem Zweck der Brücke und die für die Herstellung der Gründung zur Verfügung stehende Zeit.

Bei der Darstellung der Gründungen der Brücken haben wir uns also zunächst Kenntnis von dem Grund und Boden zu verschaffen, sodann die Gründungsarten in technischer Hinsicht zu erörtern und schließlich die wirtschaftlichen Momente zu beleuchten.

---

## I. Der Baugrund.

### I. Eigenschaften der verschiedenen Bodenarten.

Der Grundbau oder das Fundament bezweckt das Gewicht der gesamten Brückenkonstruktion möglichst gleichmäßig auf den Erdboden zu übertragen und ihr eine sichere Unterlage zu schaffen. Je fester und unnachgiebiger ein Grundbau angeordnet ist, je weniger er von dem Wasser und der Luft angegriffen und zerstört werden kann, um so standfester und dauerhafter ist die auf ihm ruhende Brücke, während' anderseits schon geringe ungleichmäßige Bewegungen im Grundbau bei sonst noch so sorgfältiger Ausführung des Baues selbst eine Verschiebung der äußeren Kräfte zur Folge haben können, so daß die zulässigen Beanspruchungen überschritten und damit Zerstörungen des Bauwerks veranlaßt werden.

Auf die Herstellung des Grundbaues oder Fundamentes einer Brücke ist daher die größte Sorgfalt zu verwenden, und da die Zuverlässigkeit und Unbewegbarkeit eines solchen im wesentlichen wieder von seiner Unterlage, d. h. von der Beschaffenheit des Baugrundes und von den vorhandenen Wasserverhältnissen abhängt, so wird bei der Wahl und der Art der Ausführung eines Grundbaues insbesondere auf die Bodenbeschaffenheit Rücksicht zu nehmen sein. Wenn nicht sonst zuverlässige Kenntnisse über diese vorliegen, sind daher in erster Linie Bodenuntersuchungen anzu-

stellen, die sich auf die Aufeinanderfolge, Ausdehnung und Lagerung der Bodenschichten, auf ihre Mächtigkeit und Neigung, auf die Beschaffenheit ihres Bodestoffes, auf dessen Verhalten unter dem Einfluß von Wasser und Luft, auf die Grundwasserverhältnisse und auf das etwaige Vorkommen von Quellen beziehen müssen. Die Untersuchung des Baugrundes geschieht am sichersten durch Aufgraben, weil dabei alle Schichten unmittelbar besichtigt werden können. Doch ist dies Verfahren ziemlich teuer, bei größeren Tiefen muß die Grube ausgezimmert werden und wird auch meistens Wasserandrang hinderlich sein. Zur Untersuchung auf größere Tiefen dienen daher die Bohrer, und zwar Zylinder-, Löffel- und Ventilbohrer für weichere Bodenarten, Meißel-, Kreuz- oder Kronenbohrer für festere Bodenarten, Diamantkronenbohrer für Felsgestein bei Tiefbohrungen. Bohrungen mit Wasserspülung sind unzuverlässig. Aus den so gewonnenen Ergebnissen lassen sich dann Schlüsse auf die Tragfähigkeit und die zulässige Belastung des Bodens ziehen\*).

Man pflegt den Baugrund einzuteilen in guten zuverlässigen, mittelmäßigen und schlechten unzuverlässigen Baugrund. Als guten Baugrund, auf dem auch die größten Brücken ohne weiteres gegründet werden können, kann man bezeichnen: gewachsenen harten Fels, festgelagerten lehmfreien Kies, Sand, trockenen Ton und Lehm; als mittelmäßiger Baugrund kann gelten: nasser Ton und

---

\*) Wegen der Einzelheiten bei Bodenuntersuchungen sowie der Geräte und Hilfsmaschinen wird auf die demnächst erscheinenden Bändchen über „Grundbau“ verwiesen.

Lehm, nasser Sand mit Lehm und Ton gemischt, wassergesättigter Sand bei sehr feinem Korn, Trieb- sand, weiche Sandsteine, Mergel- und Kreidebildungen, und zum schlechten Baugrund zählen: Mutter- boden, Torf, Moor, Schlamm, aufgeschüttete Erde und Bauschutt.

a) Fels. Gewachsener harter Fels ohne Klüftung hat für die meisten Brücken tragfähige Tragfähigkeit, wenn er in etwa 3m starker geschlossener Schicht ansteht und wenn seine Schichtung nahezu wagerecht ist. Starke Neigung der Schichten läßt leicht Rutschen befürchten, namentlich wenn der Fels auf Ton- oder Lehmschichten ruht, die an ihrer Oberfläche durch eingedrungene Tagewasser erweicht und schlüpfrig werden können. Rutschen wird um so sicherer eintreten, wenn noch talwärts die tragende Felsschicht durch Einschnitte unterbrochen ist. Man muß also bei derartigem Baugrunde nicht nur die Bodenschichtung an der Baustelle, sondern auch ihren ganzen Verlauf untersuchen. Sind Höhlungen im Fels, was namentlich bei Kalkstein häufig der Fall ist, so füllt man sie entweder mit Beton aus oder führt, wenn sie sehr groß sind, nur einzelne Pfeiler bis auf den festen Grund hinab. Bei Felsarten, die durch den Frost leiden, muß die Bausohle durch reichliche Umschüttung mit Erde gegen Frostzutritt gesichert werden. Bevor mit dem Grundbau begonnen wird, ist verwittertes und loses Gestein zu entfernen und die Oberfläche erforderlichenfalls in Treppenform wagerecht abzugleichen. Besonderer Vorsicht bedarf es in Gegenden mit Berg- baubetrieb, hier muß sich die Untersuchung bis in die Stollen erstrecken, und man muß diese nötigenfalls ausmauern oder auswölben.

b) Kies. Kies ist in einer Stärke der Schicht von etwa 3m ein sehr guter Baugrund, falls er fest gelagert ist. Dies wird der Fall sein, wenn die Schicht aus dem Wasser abgesetzt ist (Sediment), dagegen ist Kies als Verwitterungsprodukt von Gesteinen oder aus Gletscherablagerungen ein weniger guter Baugrund. Auch ist es wesentlich, daß die Kiesschicht frei von Lehmteilen ist.

c) Sand. Bei 3—4m Mächtigkeit bilden Sandschichten ebenfalls einen guten Baugrund, wenn sie aus Wasser niedergeschlagen und fest abgelagert sind. Selbst ganz feiner Sand, sog. Trieb sand, vermag große ruhige Lasten zu tragen, wenn die sichere Lagerung nicht durch Wasserentziehung gestört wird. Man darf also die feste Lagerung nicht durch Wasserschöpfen während der Ausführung des Grundbaues zerstören, das Wasserschöpfen muß vielmehr bei allen Gründungen auf Sand möglichst vermieden werden, weil es die feineren Sandteilchen zum Treiben bringt, bei größerem Sand aber die Festigkeit der Ablagerung und damit die Tragfähigkeit vermindert. Es ist bei derartigem Baugrunde richtiger eine Senkung des Grundwassers durch Brunnen vorzusehen oder als unterste Grundschicht eine unter Wasser zu schüttende Betonlage anzuwenden und erst nach deren Erhärtung das Wasser abzupumpen und weiter zu arbeiten. Soll jedoch der Erdaushub unter Wasserschöpfen ausgeführt werden, so muß man wenigstens vor Beginn des Grundbaues dafür sorgen, daß der gelockerte Sandboden sich wieder festlagere und dann die Lagerung nicht weiter gestört werde. Zu dem Zwecke kann man durch Hineinpumpen von Wasser in die Baugrube den Wasserspiegel in ihr einige Zeit gegen den Grundwasserspiegel erhöhen, so daß durch den gelockerten Bau-

grund eine Strömung in der Richtung von oben nach unten stattfindet. Sand, der trocken und von mittlerem und grobem Korn ist, weicht nur senkrecht und schräg nach unten aus und pflanzt auch nur in dieser Richtung den Druck einer Belastung fort; ist er dagegen sehr fein und mit Wasser gesättigt, so nimmt er die Eigenschaft einer Flüssigkeit an und kommt bei Störung des Gleichgewichtszustandes ins Fließen. Müssen dann in solchem Triebssand mehrere nahegelegene Baugruben ausgehoben werden und stehen die Spitzen der Spundwände noch im Sande, so ist zu beachten, daß die eine Baugrube nicht ausgepumpt werden darf, während die übrigen voll Wasser bleiben, denn es kann dann leicht ein Wasserdurchbruch unter den Spundwänden hindurch von den vollen Baugruben nach der trockengelegten stattfinden und dadurch der Untergrund gelockert werden. Sandiger Baugrund in fließendem Wasser muß vor der Strömung geschützt werden. Flugsand-Ablagerungen sind als Baugrund zu benutzen, wenn sie gegen weitere Windwirkungen gesichert und künstlich, durch Schlämmen oder Stampfen, befestigt sind.

d) Ton und Lehm. Ton und Lehm gleichen in vieler Beziehung den Flüssigkeiten, und zwar dies um so mehr, je mehr Wasser sie enthalten, sie weichen dann wie eine zähe Flüssigkeit nach allen Seiten hin aus und vermögen wohl für den Augenblick eine starke Last zu tragen, sinken aber unter einer weit geringeren, länger andauernden Last zusammen. Daher sind nur Ton- und Lehmschichten bei wenig Wassergehalt und 3—4 m Mächtigkeit als guter Baugrund zu betrachten. Sie besitzen aber auch dann noch eine gewisse Elastizität, so daß stets mit einem Setzen des Bauwerks zu rechnen ist. Dies ist aber, wenn es gleichmäßig geschieht, ohne Nachteil und

daher für möglichst gleichmäßige Belastung des Baugrundes zu sorgen.

Ton- und Lehmboden als Baugrund müssen also möglichst wasserfrei sein und sorgfältig vor Nässe bewahrt werden, damit sie nicht aufweichen. Sie sind aber auch gegen zu große Austrocknung und gegen Frost zu schützen, da sie durch Frost gelockert werden und beim Austrocknen schwinden und Risse bekommen, wodurch ein ungleichmäßiges Setzen des Bauwerks veranlaßt werden kann. Auch sandiger Lehm kann unter Umständen ein recht tragfähiger Baugrund sein, er ist aber mit größter Sorgfalt vor Wasserzutritt zu schützen, und die Gefahr ist um so größer, je höher der Sandgehalt ist.

Ton- und Lehmboden sind somit nur als guter Baugrund zu betrachten, wenn sie trocken sind, aber auch dann sind sie noch mit Vorsicht zu behandeln. Wasserhaltiger Ton und Lehm ist dagegen stets ein mittelmäßiger Baugrund, und sehr wasserhaltiger Ton und Lehm bedingt stets eine künstliche Gründung selbst bei der größten Mächtigkeit der Lagerung. Enthält der Lehm viel Sand, so kann man allerdings den Grund durch Drainage austrocknen und tragfähiger machen. Fetter Ton dagegen hält stets einen großen Teil seines Wassergehaltes dauernd fest, schwindet außerdem beim Austrocknen und wird rissig.

e) Mutterboden, Torf, Moor, Schlamm und aufgeschütteter Boden. Alle diese Bodenarten sind schlechter Baugrund und sind niemals zur unmittelbaren Aufnahme von Grundbauten für Brücken geeignet. Sind die Schichten nur schwach, so geht man mit dem Grundbau bis auf den tragfähigen Baugrund hinab; liegt letzterer aber zu tief, so ist künstliche Befestigung des Baugrundes erforderlich.



f) Wechselnde Schichtung. Liegen schwächere Sand- und Kiesschichten über starken Felsschichten, so sind diese abzuräumen und die Gründung hat auf dem Fels zu erfolgen. Dies ist in fließendem Wasser unbedingt erforderlich, aber auch in stehendem Wasser und im Trockenen zweckmäßig. Liegen schwache Sand- und Kiesschichten über starken festen Ton- oder Lehmschichten, so geht man mit dem Grundbau bei Brücken ebenfalls bis zu diesen hinab, und zwar ist dies besonders erforderlich bei Pfeilern, bei welchen die Mittelkraft der auf die Bausohle wirkenden Kräfte schräg gerichtet ist, wie bei den Widerlagspfeilern der Bogenbrücken und den mit Erde hinterfüllten Endpfeilern, und bei welchen der Grundbau im Wasser steht. Denn das Wasser in den Sand- oder Kiesschichten macht die Oberfläche der Ton- oder Lehmschichten schlüpfrig und gibt dann Veranlassung zu Rutschungen. Liegen schwache Ton- und Lehmschichten über starken Fels-, Sand- oder Kiesschichten, so ist es immer ratsam, mit dem Grundbau bis auf die letzteren hinabzugehen, auch wenn der Ton oder Lehm an und für sich fest ist. Sind zwischen Schichten besserer Bodenarten von geringer Mächtigkeit abwechselnd Schichten von Torf, Moor oder Schlamm zwischengelagert, so ist der Baugrund als unzuverlässig anzusehen und muß bis zum tragfähigen Boden durchteuft oder künstlich verbessert werden.

## 2. Tragfähigkeit und zulässige Belastung.

Unter der Tragfähigkeit eines Baugrundes versteht man die auf die Flächeneinheit bezogene äußerste Grenzbelastung. Ist  $F$  die Grundfläche des Grundbaues in qcm und  $k$  die Tragfähigkeit in kg/qcm, so ergibt

sich die volle Tragkraft  $K$  des Baugrundes in kg zu  $K = F \cdot k$ . Diese volle Tragkraft darf aber nie ausgenutzt werden, sondern es darf nur ein dem Sicherheitsgrade  $\frac{1}{n}$  entsprechender Bruchteil  $\sigma = nk$  als zulässig angenommen werden. Ist also  $L$  die Gesamtlast, welche vom Boden mit dem Sicherheitsgrade  $\frac{1}{n}$  getragen werden soll, so muß  $L = nK = F \cdot n \cdot k = F \cdot \sigma$  sein, woraus  $F = \frac{L}{\sigma}$  qcm als erforderliche Sohlfläche des

Grundbaues sich ergibt. Die Zahl  $n$  wird in der Regel  $= \frac{1}{8}$  bis  $\frac{1}{10}$  gesetzt, so daß die zulässige Belastung einer 8–10fachen Sicherheit entspricht. Nur bei harten Felsarten könnte  $n = 1$  gesetzt, also die volle Tragfähigkeit ausgenutzt werden, da diese eine rückwirkende Festigkeit haben, welche größer ist als diejenige des Grundbaustoffes, es kann aber eine größere Inanspruchnahme als die für den Grundbaustoff zulässige natürlich nicht in Frage kommen. Über die Tragfähigkeit aller übrigen Bodenarten lassen sich allgemeingültige Angaben nicht machen, weil diese bei Sand und Kies von der Festigkeit und der Ablagerungsweise, bei allen übrigen Erdarten von dem Wassergehalt abhängig ist.

Jeder Bodenart, vorausgesetzt, daß sie sich in einer Schicht von genügender Mächtigkeit vorfindet und eine sichere Unterlage ohne Gleitschichten oder Hohlräume besitzt, entspricht eine gewisse Tragfähigkeit, die durch Belastungsversuche an ihrer Oberfläche ermittelt werden kann. Belastet man eine unnachgiebige Platte von  $F$  qcm Fläche und ist die aufgebrachte Last, bis eine Einsenkung eintritt,  $= L$  kg, so ist die Tragkraft des

Bodens  $k = \frac{L}{F}$  in kg/qcm. Nimmt man ferner ein gewisses Maß der Einsenkung als zulässig an, wenn sie gleichmäßig erfolgt und keine Veränderungen im Boden durch Wasser oder andere Einflüsse zu befürchten sind, so ergibt sich aus der Belastung bis zu dieser Einsenkung unmittelbar die Tragfähigkeit und zulässige Belastung zu  $k = \sigma = \frac{L}{F}$ . Für die Standsicherheit eines

Bauwerkes ist die Größe der Einsenkung innerhalb gewisser Grenzen gleichgültig, wenn sie gleichmäßig erfolgt und innerhalb der Zeit der Fertigstellung des Bauwerks vollständig aufhört. Ungleichmäßige Senkungen aber führen Risse herbei.

Die Probelastungen an der Oberfläche ermöglichen es, bei nachgiebigem oder zusammendrückbarem Boden die Tragfähigkeit zu ermitteln, in der Regel wird aber die Sohle des Grundbaues bei Brückenpfeilern bedeutend tiefer gelegt und die Tragfähigkeit nimmt mit der Tiefe zu. Das Gesetz, nach welchem diese Zunahme erfolgt, ist noch ungenügend erforscht, es läßt sich aber die Tragfähigkeit  $k$  einer Bodenart in der Tiefe  $t$  unter der Oberfläche aus 3 Teilen zusammengesetzt denken:

1. aus der Tragfähigkeit an der Oberfläche  $= k_0$ ;
2. aus der Zunahme der Tragfähigkeit infolge der Belastung durch die darüber liegenden Erdmassen;
3. aus der Reibung zwischen dem umgebenden Erdreich und den Seitenwänden des Grundbaues.

Die Zunahme infolge der Belastung durch die darüber liegenden Erdmassen wird durch die Verdichtung der Schichten in der Tiefe und durch die Erschwerung

des seitlichen Ausweichens des Bodens unter der Grundbausohe bewirkt. Diese Zunahme muß also eine Funktion des Gewichtes  $\gamma$  der Kubikeinheit des Bodens und der Tiefe  $t$  sein  $= f(\gamma t)$ . Die geringste Größe muß also das Produkt  $\gamma \cdot t$  sein, welches einem vollständig flüssigen Zustande entspräche, bei dem die Tragfähigkeit um soviel mit der Tiefe zunimmt, als an Flüssigkeit verdrängt wird. Die Reibung zwischen Erdboden und den Seitenwänden des Grundbaues überträgt schließlich einen gewissen Teil der Last seitlich auf die Erdwand. Als mittlere Werte der Reibungswiderstände  $R$  kann man bis zu 14 m Tiefe annehmen:

Grober Sand u. Kies auf Gußeisen . . . . .	1500 kg/qm
„ „ „ „ „ Eisenblech mit Nieten	2500 „
„ „ „ „ „ rauhem Mauerwerk .	3500 „
„ „ „ „ „ glattem Zementputz .	1500 „

Bezeichnen wir wieder mit  $F$  die Grundfläche des Grundbaues und mit  $U$  den Umfang, so läßt sich hier nach die Tragfähigkeit  $k_t$  für 1 qm in einer Tiefe  $t$  unter der Oberfläche bei dem kleinsten Wert für  $f(\gamma t) = \gamma \cdot t$  ausdrücken durch die Formel  $k_t = k_0 + \gamma t + \frac{U \cdot R}{F}$ . Handelt es sich um Pfeilergründungen unter

Wasser, so ist außer der Tiefe  $t$  des Grundbaues unter Sohle auch noch die geringste Wassertiefe  $t_w$  zu berücksichtigen, und die Formel erweitert sich zu

$k_t = k_0 + \gamma t + 1000 t_w + \frac{U \cdot R}{F}$ . Der Einfluß der letzten 2

oder 3 Glieder dieser Formeln ist namentlich bei Pfeilergründungen in Flüssen nicht unwesentlich und daher nicht zu vernachlässigen, denn die Erfahrung hat gelehrt, daß bei Auskolkungen Pfeiler bereits Senkungen

gezeigt haben, lange bevor die Grundbausohe an irgendeiner Stelle freigelegt war.

Bei der außerordentlich verschiedenartigen Zusammensetzung der Erdarten wird indes eine theoretische Lösung der Frage über die Tragfähigkeit des Baugrundes in solcher Weise, daß sie auch für die Praxis allgemeinen Wert besitzt, kaum möglich sein, man begnügt sich daher in der Praxis mit Durchschnittswerten für die zulässigen Belastungen  $k$  des Baugrundes. Als solche sind üblich für:

Fels . . . . .	6—18 kg/qcm
festgelagerten Sand und Kies	4—6 „
trockenen Ton und Lehm . . .	2,5—5 „
nassen „ „ „ . . .	1,5—2 „

Die preußische Staatsbauverwaltung schreibt vor für mäßigen Baugrund, feinen oder unreinen Sand  $k = 2—3$  kg/qcm,

guten Baugrund, festgelagerten Kies, groben Sand, festen Ton  $3—5$  kg/qcm.

Die Berliner Baupolizei gestattet  $k = 2,5$  kg/qcm für losen Sand.

### 3. Die belastenden Kräfte und die Standsicherheit der Grundbauten.

Die Kräfte der Tragkonstruktion der Brückenüberbauten werden mittels der Auflager auf den Unterbau übertragen, und die statische Berechnung der Überbauten ergibt die Auflagerdrücke und somit die Belastung der Brückenpfeiler. Die Auflagerdrücke sind bei lotrechter Belastung bei den Balkenbrücken lotrecht, bei den Bogen- und Hängebrücken dagegen von der lotrechten Richtung mehr oder weniger abweichend, und

zwar wirken die wagerechten Seitenkräfte der Auflagerdrücke auf die Pfeiler bei den Bogenbrücken als Druck und bei den Hängebrücken als Zug. Die Art der Auflagerung des Überbaues auf die Pfeiler ist also maßgebend für die Kraftwirkung des Überbaues auf die Pfeiler, Lage und Richtung der Auflagerdrücke auf die Pfeiler werden durch die Auflager bestimmt.

Zu diesen Auflagerdrücken kommt dann weiter als angreifende äußere Kraft das Eigengewicht der Pfeiler, und wenn der Pfeiler mit Erde hinterfüllt wird, wie bei den End- und Widerlagspfeilern, der Erddruck, sowie bei hohen Pfeilern auch noch der Winddruck. Durch die Zusammensetzung der äußeren Kräfte, der lotrechten Auflagerdrücke und der Seitendrücke mit dem lotrecht wirkenden Gewicht der Pfeiler nach den bekannten Regeln der Statik werden dann diejenigen Kräfte in den einzelnen Pfeilerschichten gefunden, welchen die Pfeiler zu widerstehen haben und welchen die Abmessungen der Pfeiler je nach dem Baustoff und den zulässigen Beanspruchungen angepaßt werden müssen. Die Seitendrücke dürfen dabei mit dem lotrecht wirkenden Pfeilergewicht zusammengesetzt an keiner Pfeilerstelle Kräfte hervorrufen, die ein Drehen oder ein Gleiten der Pfeiler oder irgendeines Pfeilerteiles bewirken könnten. Diese Bedingung muß erfüllt sein, wenn es sich um unwandelbare, d. i. um gemauerte oder betonierte Pfeiler handelt, wie sie in der Regel zur Ausführung kommen, sie entfällt dagegen bei elastischen Stützen, welche Biegemomente und elastische Formänderungen aufnehmen vermögen, wie bei den elastisch drehbaren Stützen der kontinuierlichen Balkenbrücken aus Eisenbeton. Der Reibungswinkel verschiedener Mauerarten schwankt zwischen  $26^{\circ}$  und  $36^{\circ}$ , man kann daher mit

genügender Sicherheit eine Abweichung der Richtung der Druckkraft von der Senkrechten zur Lagerfläche um etwa  $30^{\circ}$  noch als zulässig gelten lassen.

Aus der Mitteldrucklinie und der Größe der in der Pfeilersohle zur Wirkung kommenden Mittelkraft ergibt sich sodann die Belastung des Grundbaues, und die Abmessungen sind danach so zu bestimmen, daß einerseits die für den betreffenden Baustoff zulässige Pressung nicht überschritten wird und andererseits die auf die Fundamentsohle verteilte Pressung der zulässigen Beanspruchung des Baugrundes oder der zur Anwendung kommenden Gründungsart entspricht. Zugbeanspruchungen sind in Fundamentkörpern im allgemeinen unzulässig, nur eisenarmierte Betonplatten vermögen Biegungsspannungen aufzunehmen. Die Druckübertragung setzt sich im Mauerwerk und erhärtetem Beton höchstens im Winkel von  $45^{\circ}$  fort und bei Abtreppungen ist auch die Abscherung zu beachten. Falls der Grundbau in durchlässigem Boden liegt, ist noch zu prüfen, ob der Auftrieb des Wassers die größte Bodenpressung an der Fundamentkante nicht vergrößert.

Nach den Vorschriften der Bauabteilung des preußischen Ministeriums der öffentlichen Arbeiten und der Berliner Baupolizei sind folgende Druckspannungen als zulässig anzunehmen:

Kalksteinmauerwerk in Kalkmörtel . . . . .	5 kg/qcm
Ziegelmauerwerk, gewöhnl. in Kalkmörtel . . . . .	7 „
„ in Zementmörtel . . . . .	11—12 „
Klinkermauerwerk, bestes . . . . .	12—14 „
„ in Zementmörtel . . . . .	14—20 „
Beton, Schüttbeton . . . . .	5—10 „
„ Stampfbeton . . . . .	10—15 „

Die zulässigen Druckbeanspruchungen werden zu  $1/10$ — $1/20$  der durch Versuche festgestellten Druckfestigkeiten der Baustoffe angenommen, für etwa vorkommende Zugbeanspruchungen kann man für Mauerwerk  $1/70$ — $1/100$  der Druckfestigkeit annehmen.

Ist  $R$  die Mittelkraft aus Überbau und Pfeiler, welche im Punkte  $s$  die Lagerfläche  $A$ — $B$  schneidet und mit der Senkrechten zur Lagerfläche den Winkel  $\varphi$  bildet (Abb. 1), so kann diese in eine in der Richtung der Lagerfläche wirkende Schubkraft  $T$  und in eine Normalkraft  $N$  zerlegt werden.

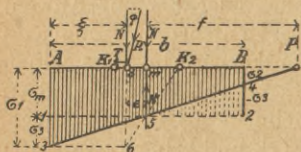


Abb. 1.

Es ist

$$T = R \cdot \sin \varphi$$

$$N = R \cdot \cos \varphi$$

Der Schubkraft  $T$  wirkt die Adhäsion des Mörtels und die längs der Fuge stattfindende Reibung entgegen.

Bezeichnet  $\tau$  die für die Flächeneinheit geltende Adhäsion,  $F$  den Flächeninhalt der Lagerfläche und  $\mu$  die Reibungsziffer, so muß  $T = R \cdot \sin \varphi \leq F \cdot \tau + \mu \cdot N$  sein. Die Adhäsion wird in der Regel vernachlässigt, in der Fundamentsohle ist sie überhaupt nicht vorhanden, und es wird dann  $R \cdot \sin \varphi \leq \mu N \leq \mu \cdot R \cdot \cos \varphi$  oder  $\tan \varphi \leq \mu$ , d. h. der Winkel  $\varphi$ , den die Mittelkraft  $R$  mit der Senkrechten zur Lagerfläche bildet, muß gleich oder kleiner als der Reibungswinkel sein, da die Reibungsziffer  $\mu$  gleich der Tangente des Reibungswinkels ist. Die Reibungsziffer kann angenommen werden  $\mu = 0,70$  für Mauerwerk auf Mauerwerk oder Beton,  $\mu = 0,60$  für Gründung auf natürlichem Boden,  $\mu = 0,78$  für Gründung auf Felsen. Es genügt daher, wenn  $\varphi \leq 30^\circ$  ausfällt, um die Schubkraft  $T$  vernachlässigen



zu können, sonst müßte die über der Lagerfläche  $A-B$  befindliche Pfeilermasse entsprechend vergrößert oder die Lagerfläche müßte schräg angelegt werden, so daß der Winkel  $\varphi$  kleiner wird.

Die Druckkraft  $N = R \cdot \cos \varphi$  bewirkt eine Druckbeanspruchung der Lagerfläche. Ihr Abstand vom Schwerpunkt  $m$  der Lagerfläche sei  $e$ , dann kann man  $N$  ersetzt denken durch eine in  $m$  angreifende Kraft  $N$  und ein Kräftepaar  $NN$  mit dem Hebelarm  $e$ . Die im Schwerpunkt  $m$  angreifende Kraft  $N$  bewirkt eine gleichmäßige Druckbeanspruchung der Lagerfläche

$\sigma_m = \frac{N}{F}$ . Ist die Lagerfläche  $F$  wie in der Regel ein

Rechteck von der Länge  $b$  und der Breite  $a$ , und wird die Breite  $a = 1$  gesetzt, so stellt das Rechteck  $A1B2$  die Druckfläche der Beanspruchung  $\sigma_m$  für die Flächeneinheit dar, welche durch die im Schwerpunkt  $m$  angreifende Kraft  $N$  hervorgerufen wird.

Das Kräftepaar  $NN$  erzeugt eine Biegebeanspruchung, welche die Lagerfläche in eine geneigte Lage zu drehen sucht. Hierdurch verändern sich die Beanspruchungen eines jeden Flächenelementes, die auf der Seite des Angriffspunktes  $s$  liegenden Flächenelemente erhalten eine stärkere Pressung, während die durch  $\sigma_m$  auf der entgegengesetzten Seite hervorgerufene Pressung verringert wird. Ist  $\sigma_3$  die Veränderung der Beanspruchungen, so geht die Begrenzungslinie der Druckfläche 1—2 über in die Lage 3—4 und schneidet nunmehr die Lagerfläche oder ihre Verlängerung in einer senkrecht zur Bildebene stehenden durch den Punkt  $P$  gehenden Linie, welche man die Nulllinie oder neutrale Achse nennt, da in ihr der Übergang der Druckspannungen in Zugspannungen stattfindet.

Die Pressung  $\sigma_m$  wird also durch das Kräftepaar  $NN$  an der Kante  $A$  um  $\sigma_3$  vermehrt, an der Kante  $B$  um  $\sigma_3$  vermindert, und es handelt sich in erster Linie darum, festzustellen, ob die Kantenpressung  $\sigma_1 = \sigma_m + \sigma_3$  an der Kante  $A$  nicht das zulässige Maß überschreitet.

Das Moment der äußeren Kräfte  $N \cdot e$  muß gleich dem Moment der inneren Kräfte  $W \cdot \sigma_3$  sein, wenn  $W$  das Widerstandsmoment der Lagerfläche  $F$  ist. Daraus folgt  $\sigma_3 = \frac{N \cdot e}{W}$  und  $\sigma_1 = \frac{N}{F} + \frac{N \cdot e}{W}$ ,  $\sigma_2 = \frac{N}{F} - \frac{N \cdot e}{W}$ .

Für den Rechteckquerschnitt mit der Breite  $a$  ist  $W = \frac{b a^2}{6}$  und für  $\alpha = 1$  wird  $F = b \cdot 1$ ,  $W = \frac{b \cdot 1^2}{6}$ , und die obigen Gleichungen vereinfachen sich zu

$$\sigma_1 = N \left(1 + \frac{6 \cdot e}{b}\right), \quad \sigma_2 = N \left(1 - \frac{6 \cdot e}{b}\right).$$

Eine einfache Ermittlung der Kantenpressungen auf zeichnerischem Wege besteht darin, daß nach Berechnung und Auftragung von  $\sigma_m$  die Abschlußlinie 1—2 gezogen, ihr Schnittpunkt 5 mit der Mittellinie durch  $m$  mit dem Kernpunkt  $K_2$  verbunden und vom Schnittpunkt 6 der verlängerten Linie  $K_2$ —5 mit der Senkrechten durch  $s$  eine Parallele zur Lagerfläche  $A$ — $B$  gezogen wird. Diese schneidet in  $A$ —3 die Größe  $\sigma_1$  ab,  $\sigma_2$  erhält man durch die Verbindungslinie 3—5 auf der Senkrechten durch  $B$  abgeschnitten. Die Lage der Nulllinie ist abhängig von der Lage des Angriffspunktes  $s$  der Mittelkraft  $R$ . Fällt die Nulllinie mit der Lagerflächenkante  $B$ , also Punkt  $P$  mit  $B$  zusammen,  $f = \frac{b}{2}$ , so nennt man den Angriffspunkt  $s$  der Mittelkraft  $R$

den Kernpunkt. Der Kernpunkt stellt also eine Grenzlage für den Angriffspunkt  $s$  fest, denn es herrscht dann in der ganzen Lagerfläche zwar noch Druckbeanspruchung, aber in der Kante  $B$  wird die Beanspruchung bereits gleich Null und würde in eine Zugbeanspruchung übergehen, sobald die Nulllinie in die Lagerfläche hineinfallen, d. h. sobald der Angriffspunkt  $s$  über den Kernpunkt hinausrücken würde.

Bei einem rechteckigen Querschnitt der Lagerfläche liegen die Kernpunkte  $K_1$  und  $K_2$  in dem Abstände  $\frac{1}{3}b$  von den Kanten und von einander und wenn die Breite  $a = 1$  ist, so kommen für die Beurteilung der Beanspruchung der Lagerfläche nur die Kernpunkte  $K_1$  und  $K_2$  in Betracht. Was in nachstehendem für den Kernpunkt  $K_1$ , für die linke Seite der Lagerfläche abgeleitet wird, gilt sinngemäß auch für den Kernpunkt  $K_2$  auf der rechten Querschnittseite. Zu beachten ist indes, daß die Verteilung des Druckes in der geschilderten Weise nur erfolgt, wenn man es mit ebenen Lagerflächen zu tun hat. Bei Bruchsteinmauerwerk kommen daher nur die gleichmäßig abgeglichenen Schichten in Frage.

Je nach der Lage des Angriffspunktes  $s$  der Mittelkraft  $R$  ergeben sich folgende Fälle:

- α) Angriffspunkt  $s$  fällt mit dem Schwerpunkt  $m$  der Lagerfläche zusammen  $e = 0$  und  $f = \infty$ ,

$$\sigma_1 = \sigma_2 = \frac{N}{F}$$

- β) Angriffspunkt  $s$  liegt innerhalb der Kernpunkte  $K_1$  und  $K_2$ ,  $e < \frac{b}{6}$ ,  $f > \frac{b}{2}$  bleibt aber endlich.  $\sigma_1$

und  $\sigma_2$  werden verschieden groß, haben aber die-

selben Vorzeichen und die ganze Lagerfläche wird auf Druck beansprucht.

γ) Angriffspunkt  $s$  fällt mit dem Kernpunkt  $K_1$  zu-

sammen,  $e = \frac{b}{6}$  und  $f = \frac{b}{2}$ .

$$\sigma_1 = \frac{2N}{F} = 2 \cdot \sigma_m$$

$$\sigma_2 = 0.$$

δ) Angriffspunkt  $s$  fällt außerhalb des Kernpunktes

$K_1$ ,  $e > \frac{b}{6}$ ,  $f < \frac{b}{2}$ .

$\sigma_2$  wird negativ, ein Teil der Lagerfläche erleidet Zugspannungen oder die Lagerfläche wird verkleinert, wenn sie nur Druckbeanspruchung aufnehmen kann. In diesem Falle wird, wenn  $\xi$  der Abstand des Angriffspunktes  $s$  von der Kante  $A$  ist, also  $\xi = \frac{b}{2} - e$ ,

$$\sigma_1 = \frac{2 \cdot N}{3 \xi}.$$

Fällt der Angriffspunkt  $s$  mit der Kante  $A$  zusammen, so wird  $f = \frac{b}{6}$ , der Punkt  $P$  fällt mit dem

Kernpunkt  $K_2$  zusammen und es wird  $\sigma_1 = 4 \sigma_m$

$$\sigma_2 = -2 \sigma_m.$$

Aus diesen verschiedenen Fällen ergibt sich also, daß der Angriffspunkt der Mittelkraft stets zwischen die Kernpunkte, d. i. in das innere Drittel der Lagerfläche fallen muß, wenn letztere nur auf Druck beansprucht werden soll, und dies muß bei der Fundamentsohle der Fall sein, da hier Zugspannungen überhaupt nicht auftreten können.

## II. Einteilung und Arten der Gründungen.

Die für den Grundbau zu verwendenden Baustoffe müssen eine den örtlichen Verhältnissen entsprechende genügende Widerstandsfähigkeit und Unvergänglichkeit haben, die Verwendung von Holz als bleibender Bestandteil eines Fundamentes ist daher nur gestattet, wenn es den wechselnden Einflüssen von Luft und Wasser entzogen wird, also stets unter Wasser bleibt. Aber auch dieses gilt nur von Süßwasser, im Meerwasser wird das Holz von dem Bohrwurm und anderen Feinden angegriffen und häufig in ganz kurzer Zeit zerstört.

Die Gründungstiefe richtet sich in erster Linie nach der Bodenbeschaffenheit, aber auch bei gutem Baugrunde müssen die Fundamente so tief gelegt werden, daß sie gegen Auftreiben durch Frost geschützt sind, die Fundamentsohle muß stets unterhalb der Frostgrenze liegen, d. i. unterhalb der Tiefe, bis zu welcher die Winterkälte noch einwirken kann. Die Größe dieser Tiefe hängt natürlich vom Klima ab; im gemäßigten Klima, also auch in Deutschland, genügt zur Erreichung der Frosttiefe ein Hinabgehen auf 1 bis 1,25 m, nur in Ostpreußen sind 1,50 m erforderlich, während in kalten Zonen die Frosteinwirkung auf 2 bis 3 m, oft noch auf größere Tiefen zu merken ist. Unnötig tief wird man aus wirtschaftlichen Gründen nicht mit den Fundamenten hinabgehen, weil mit zunehmender Tiefe die Kosten sich wesentlich erhöhen. Somit erscheint die Frostgrenze als die höchste Lage der Fundamentsohle, und größere Tiefen sind im wesentlichen durch die Bodenbeschaffenheit bedingt, wenn nicht sonstige im Bauwerke selbst liegende Gründe vorliegen. Es ergibt

sich also zunächst eine Einteilung der Gründungen in Flachgründungen und Tiefgründungen. Beiden ersteren wird das Fundament unmittelbar auf einer festen Unterlage, sei es der natürliche oder verbesserte Baugrund, hergestellt, bei den letzteren wird das Fundament selbst oder Teile desselben abgesenkt.

Bei den Flachgründungen wird angestrebt dem Fundamente eine gleichmäßig ebene, möglichst unnachgiebige, nicht zu tief liegende Unterlage zu verschaffen, welche der Belastung durch die Pfeiler widerstehen kann. Hierfür muß die Sohlfläche möglichst senkrecht zur Druckrichtung der Pfeiler stehen, und die Größe der Fundamentsohle muß nach den im vorigen Abschnitt ermittelten Formeln der zulässigen Belastung entsprechend bestimmt werden. Eine Abweichung von der zur Druckrichtung senkrechten Lage darf selbst da, wo ein Gleiten ganz ausgeschlossen ist, nicht mehr als  $15^{\circ}$  betragen. Die verschiedenen Arten der Flachgründungen bestehen in einer Verdichtung des Bodens oder in einer Verbreiterung der Fundamente durch Abtreppungen, durch ein Betonbett, durch liegende Roste oder umgekehrte Gewölbe oder durch Sand- und Steinschüttung.

Die Tiefgründung wird notwendig, wo der feste Baugrund erst in größerer Tiefe liegt oder überhaupt nicht zu erreichen ist oder wo der Baugrund in den oberen Schichten zwar eine gewisse Tragfähigkeit zeigt, aber namentlich in fließendem Wasser leicht beweglich ist. Die verschiedenen Arten der Tiefgründungen bestehen also in einer Absenkung des Fundamentes oder in einem besonderen Unterbau, auf welchem dann das Fundament errichtet wird. Hiernach unterscheidet man die Gründungen auf Pfahlroste, auf Senkkasten

und auf Brunnen, sowie die Druckluft- und Gefriergründung.

Die Anwendung der verschiedenen Gründungsarten richtet sich einerseits nach der Bodenbeschaffenheit, d. h. nach dem Vorhandensein oder Fehlen eines guten Baugrundes, und anderseits nach den Wasserverhältnissen. Hinsichtlich der Bodenbeschaffenheit unterscheidet man:

1. Boden in der Oberfläche fest,
2. Boden in erreichbarer Tiefe fest,
3. fester Baugrund nicht erreichbar,

und hinsichtlich der Wasserverhältnisse:

1. Wasser nicht vorhanden,
2. Grundwasser oder offenes Wasser vorhanden, aber ausschöpfbar,
3. Wasser vorhanden, aber nicht auszuschöpfen.

Hiernach sind in der folgenden Tabelle die in den einzelnen Fällen möglichen Gründungsarten zusammengestellt und die für Brückenpfeiler in erster Linie geeigneten durch gesperrten Druck gekennzeichnet. Die Wahl unter der in manchen Fällen großen Zahl der möglichen Gründungsarten hängt dann von den örtlichen Verhältnissen, von der zur Verfügung stehenden Bauzeit, von der Beschaffenheit der Baustoffe und Hilfsmittel und schließlich besonders von den Kosten ab, da die Wirtschaftlichkeit verlangt, unter sonst gleichen oder annähernd gleichen Verhältnissen und Vorzügen diejenige Gründungsart zu wählen, welche dem Grundgesetz der Wirtschaftlichkeit: den gewollten Nutzen mit den geringsten Kosten zu erreichen, am meisten entspricht.

Allgemein ist noch zu beachten, daß für Brücken-

pfeiler aufgelöste Fundamente grundsätzlich nur da richtig sind, wo in größerer Tiefe unter schlechtem weichen Boden ein fester tragfähiger Baugrund getroffen wird, dagegen grundsätzlich falsch, wenn der Boden durchweg, auch in der erreichbaren größten Tiefe, nur geringe Tragfähigkeit besitzt. Im ersteren Falle kann man durch Absenkung einzelner Teile des Fundamentes, als Pfahlbündel, Senkkasten, Brunnen, bis auf den festen Baugrund, welche oben durch Platten oder Bögen verbunden werden, bedeutend an Kosten sparen, in letzterem Falle muß man das Fundament nicht teilen und die Lasten auf die einzelnen Teile verringern, sondern im Gegenteil das Fundament im ganzen möglichst verbreitern, um eine geringe Belastung für die Flächeneinheit des Baugrundes zu erzielen.

Ferner haben Brunnen- und Druckluftgründungen den Vorzug vor Fangedamm- und Spundwandgründungen, daß man bei ihnen die Gründungstiefe je nach dem Befunde des Baugrundes beliebig gegen die ursprüngliche Annahme verändern kann, während man bei den letzteren durch die Länge der einmal beschafften Spund- oder Pfahlwände an verhältnismäßig enge Grenzen gebunden ist. Den gleichen Vorzug haben auch Eisenbetonpfähle vor Holzpfählen, da die bereits eingerammten Eisenbetonpfähle sich ohne weiteres verlängern lassen, wenn man sieht, daß die ursprünglich angenommene Länge nicht genügende Sicherheit für das Fundament bietet. Wo also die Bodenuntersuchungen kein genügend sicheres Bild über den Baugrund ergeben haben, wird man den Brunnen- oder Druckluftgründungen vor Fangedamm- oder Spundwandgründungen und den Eisenbetonpfählen vor Holzpfählen den Vorzug geben.



# Übersicht der möglichen Gründungsarten nach den Boden- und Wasserverhältnissen.

Wasser nicht vorhanden	Boden in der Oberfläche fest	Boden in erreichbarer Tiefe fest	Fester Baugrund nicht erreichbar	Be- merkungen.
Wasser vorhanden	Ausheben bis zur Frostgren- ze und un- mittelbares Mauern oder Betonieren.	1. Aufgraben bis zum festen Boden und unmitttelbares Mauern oder Betonieren, 2. desgl. und einzelne Pfeiler mit Erdbögen, 3. Sand- oder Betonzylinder, 4. Zementeinpressung, 5. Beton- u. Eisenbetonpfähle, 6. Eiserner Pfähle.	1. Einrammen von Schotter oder Steinen, 2. Sand- oder Betonzylinder, 3. Verbreiterung d. Mauerwerks, 4. Breites Betonbett oder Eisen- betonplatte, 5. Umgekehrte Gewölbe, 6. Sandschüttung, 7. Beton- u. Eisenbetonpfähle.	Kein Holz zu verwenden.
Grund- wasser oder offenes Wasser vorhanden, aber ausschöpf- bar oder absenkbar	1. Umschließen, Ausschöpfen u. Ausgraben der Baugrube od. Absenken des Wasser- spiegels, dann unmittelbar. 2. Mauern oder Betonier. od. 3. Senkkasten als Fangedamm.	1. Absenken des Wasserspie- gels u. unmittelbares Mau- ern oder Betonieren, 2. Ausgraben bis unter Grundwasser- spiegel od. Umschließen u. Trocken- legen der Baugrube, dann 3. Pfahlrost, 4. Beton- u. Eisenbetonpfähle, 5. Eiserner Pfähle, 6. Senkbrunnen, 7. Luftdruckgründung, 8. Gefriergründung.	1. Ausgraben bis unter Grundwasser oder Umschließen u. Trockenlegen der Baugrube, dann 2. Einrammen von Schotter oder Steinen, 3. breite Eisenbetonplatte, 4. liegender Rost, 5. umgekehrte Gewölbe, 6. Sandschüttung, 7. Pfahlrost, 8. Beton- u. Eisenbetonpfähle.	Holz unter Wasser zulässig, genaue Arbeit möglich.
Wasser vorhanden, aber nicht ausschöpf- bar oder absenkbar	1. Umschließen u. Ausbaggern der Baugrube und Beton- schüttung unter Was- ser, 2. Senkkasten m. unterem Boden, 3. Senkbrunnen, 4. Luftdruck- gründung.	1. Umschließen und Ausbaggern der Baugrube u. Betonschüttung unter Wasser, 2. Pfahlrost, 3. Beton- u. Eisenbetonpfähle, 4. eiserner Pfähle, 5. Senkbrunnen, 6. Luftdruckgründung, 7. Gefriergründung.	1. Sand- oder Steinschüttung und Verbreiterung der Fundamente, und 2. Pfahlrost zur Verdichtung des Bodens mit Betonplatte oder Senkkasten mit Boden, 3. Eisenbetonpfähle mit brei- ter Eisenbetonplatte, 4. Senkkasten mit Boden von großer Grundfläche als liegender Rost, 5. Senkbrunnen mit Pfahlrost, 6. Luftdruckgründung mit Pfahlrost.	Holz unter Wasser zu- lässig, ge- naue Arbeit nur bei Luftdruck- u. Gefrier- gründung möglich.

### III. Die Baugrube, ihre Herstellung, Umschließung und Trockenlegung.

#### I. Aushub und Herstellung der Baugrube.

Nur bei festem, unverwitterbarem Felsen kann unmittelbar nach Einebnung der Oberfläche mit dem Aufbau des Pfeilerfundamentes begonnen werden, in allen anderen Fällen muß mit der Fundamenttiefe mindestens bis zur Frostgrenze hinabgegangen, also der Boden ausgehoben und eine sogenannte Baugrube hergestellt werden, deren Ausdehnung sich aus dem Umfange des Fundamentkörpers und aus der gewählten Gründungsart nach den örtlichen Verhältnissen ergibt.

In wasserfreiem und bei künstlich durch Absenken des Grundwassers trocken gelegtem Boden kann bei geringen Tiefen das Ausgraben der Baugrube mit lotrechten oder geneigten Seitenwandungen, je nach der Standfähigkeit des Bodens erfolgen. Bei größeren Tiefen und bei wenig standfestem Boden müssen lotrechte Grubenwände, um ein Nachstürzen in die Grube zu verhindern, ausgezimmert oder eingeschalt werden, was entweder durch wagerecht gelegte oder lotrecht gestellte Bretter oder Bohlen geschieht. Bei dem wagerechten Ausbau werden die Bohlen von 5—6 cm Stärke und 4—5 m Länge wagerecht eingelegt, je 2 oder 3 Bohlen durch eine Lasche oder Brustholz, d. i. ein senkrecht gestelltes Bohlenstück, an beiden Enden und einmal in der Mitte oder bei stärkerem Bodendruck noch zweimal gefaßt und durch eine Spreize gegen die gegenüberliegende Baugrubenwand oder gegen einen anderen festen Punkt abgesteift. Oder es werden auch eiserne I-Träger eingerammt und zwischen deren Flan-

schen die wagerechten Bohlen verlegt und durch Keile befestigt. Ist der Boden sehr beweglich, wie Flug- oder Triebsand, so werden die Bohlen senkrecht gestellt und dem Ausgraben entsprechend vorgetrieben. Bei sehr großen Tiefen der Baugrube kann unter Umständen eine bergmännische Schachtauszimmerung notwendig werden.

Ist Grundwasser vorhanden, so kann bis etwa 0,50 m unter Wasser, je nach Bodenart und Wasserandrang, noch das Ausgraben und die Auszimmerung in gewöhnlicher Weise erfolgen. Bei geringen Tiefen, etwa 1—1,50 m, und geringem Wasserandrang wendet man die sogenannten Stülpwände an, welche aus 2 Reihen Brettern von 4—5 cm Stärke bestehen und sich gegenseitig überdecken, Abb. 2. Bei größeren Wassertiefen werden zum Aushub der Baugrube Bagger erforderlich, und muß auch eine wasserdichte Umschließung der Baugrube durch gespundete Bohlen, Spundwände, erfolgen, Abb. 3 und 4. Die Bagger können entweder Handbagger oder Wasserdruck-, Luftdruck-, Dampf- oder Maschinenbagger sein, und hiervon kommen hauptsächlich in Betracht:

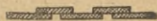


Abb. 2.

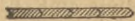


Abb. 3.

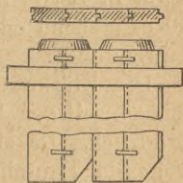


Abb. 4.

a) bei Gründungsarbeiten von geringem Umfang der Sackbagger und Sackbohrer, die indische Schaufel, die Schlammpumpe für Handbetrieb und der Eimerbagger mit senkrechter Baggerleiter für Handbetrieb;

b) bei großen Arbeiten die Maschinenbagger als Eimer- und Greifbagger, die Sand- und Schlamm-

pumpen mit Dampftrieb. Weniger gebräuchlich und nur bei Brunnengründungen angewandt sind die hydraulischen und pneumatischen Exkavatoren sowie der Lesliesche Heber\*).

## 2. Einschließung und Abdämmung der Baugrube.

Wo seitlicher Wasserzutritt vorhanden ist und die Baugrube trocken gelegt und erhalten werden soll, muß sie eine wasserdichte Einschließung erhalten. Handelt es sich um die Abschließung von Grundwasser, so kommen die Spundwände aus Holz, Eisen und Eisenbeton in Betracht, bei Gründungen im offenen Wasser, sei es stehend oder fließend, finden die Fangedämme Anwendung.

Die Stärke der Spundwände richtet sich nach dem einseitigen Drucke, den sie erleiden, Wasser- und Erddruck. Da sie aber in den seltensten Fällen als tragende Bauteile dienen, sondern in der Regel nur zur Abschließung einer Baugrube gegen Wasserandrang und zum Schutze des Fundamentes gegen Unterspülung, so erfüllen sie ihren Zweck, wenn sie in unverletztem Zustande im Boden stehen. Ihre Stärke ist daher auch im allgemeinen nicht statisch bestimmbar, sondern hängt vielmehr von der dynamischen Inanspruchnahme durch die Rammarbeit, also von der Bodenart und der Rammtiefe ab. Bei den gewöhnlich vorkommenden Bodenarten haben sich folgende Abmessungen für hölzerne Spundwände bewährt:

---

\*) Ausführliches über die gebräuchlichen Bagger im Handbuch der Ingenieurwissenschaften I, Teil, Bd. III u. IV.

Bohlenlänge m	Holzstärke cm	geringste Bohlenbreite cm
2—3	8—10	20
4—5	12—14	20
6—8	16—18	25
9—10	20	25
11—13	21—22	25
14—15	23—24	25

Auch eine größte zulässige Bohlenbreite vorzuschreiben, ist nicht ratsam, denn breite Bohlen rammen sich ebenso bequem wie schmale Bohlen und verbilligen daher die Rammarbeit. Die Länge der Bohlen ist so zu bemessen, daß sie über den zu erwartenden höchsten Wasserstand hinausragen, genügend fest im Boden stecken und am besten bis in die undurchlässige Schicht eingreifen. Bei größerer freistehender Länge der Spundwand und bei größerem Seitendruck ist eine Absteifung aus starken Rahmhölzern und Rundholzsteifen erforderlich.

Bei den schwächeren Bohlen ist die Dreieckspundung, Abb. 3, bei den stärkeren die quadratische Spundung, Abb. 4, die beste. Bei der letzteren muß die Feder stets so hoch wie die Nut gemacht werden, damit sich nicht Sand, Steinchen und erdige Teile zwischen Nut und Feder setzen, was die Ursache des seitlichen Ausweichens der Spundbohle bildet. Als Höhe der Feder genügt bei allen Bohlenstärken 5 cm, und die Breite soll 5 mm geringer sein als die Nut, welche gleich  $\frac{1}{3}$  der Holzstärke und 2—4 mm kürzer als die Feder gemacht wird. Hohe Federn sind ohne Einfluß auf den dichten Schluß der Wand und verursachen nur eine Holzvergeudung, hohe Federn und dementsprechend hohe Backen brechen auch leicht. Die Feder muß durchweg vollkantig sein, Federmitte, Nutmitte und Bohlenmitte müssen überall zusammenfallen, jede Abweichung hiervon verursacht Bruch.

Jede Spundbohle ist keilförmig anzusetzen, damit sie beim Einrammen an die bereits vorgerammte Wand herangedrängt wird, und man erreicht dies, indem man den angespitzten Fuß schräg anschneidet, siehe Abb. 4. Damit der Rammbär nicht die Pfahlkanten trifft, der Rammschlag vielmehr achsial erfolgt, werden schmale Spundbohlen paarweise gekuppelt und mit einem gemeinschaftlichen Pfahlring versehen. Es muß beim Einrammen von Spundbohlen überhaupt darauf geachtet werden, daß die Auflagerfläche größer ist als die Unterfläche des Bären. Das Aufziehen der Pfahlringe ist von großer Wichtigkeit, sie bezwecken, daß die Bohlenköpfe beim Einrammen eine glatte Fläche behalten und nicht zersplittern. Die Pfahlringe müssen mindestens 100 mm hoch und 30 mm stark sein, sie müssen konisch gearbeitet oder wenigstens konisch aufgezogen werden, leichtere Ringe springen leicht unter dem Rammschlag und können beim Herabfallen die Arbeiter gefährden. Bei sehr festem und namentlich bei steinigem Boden wird die untere Schneide der Spundbohlen noch mit eisernem Schuh versehen.

Das Einrammen selbst erfolgt zwischen Zangen oder Zwingen, welche als Führung für die Spundbohlen dienen, außerdem müssen die einzurammenden Bohlen gegen die bereits eingerammten mit Keilen oder einer Winde angepreßt werden, damit ein dichter Schluß entsteht. Um eine dichte Wand zu erzielen, rammt man auch nicht jede einzelne Bohle für sich ein, sondern setzt immer 2—3 m Wand vor und rammt dann erst nach. Druckwasser außer dem Rammen erleichtert die Arbeit. An den Punkten, wo die Wandrichtung sich ändert, werden Bund- oder Eckpfähle geschlagen, zwischen denen bei längeren geraden Strecken noch in Abständen

von 4—5 m stärkere Zwischenpfähle anzuordnen sind. Die Bund- und Zwischenpfähle werden zuerst gerammt und zur Anbringung der Zangen benutzt.

Bei hohen und dementsprechend starken Bohlenwänden hat man die Spundung wohl ganz fortgelassen und sogen. Pfahlwände eingerammt. An die Dichtigkeit dieser Pfahlwände darf man aber noch weniger hohe Anforderungen stellen als an die der Spundwände, man kann sich



Abb. 5.

selbst auf eine einfache Spundwand nicht sicher verlassen, auch wenn die Rammung gut von statten ging. Als wirksames Mittel zur Dichtung von einfachen Wänden dient

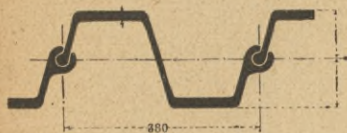


Abb. 6.

außer Sägespänen und Mist die Bekleidung mit Segeltuch, welches durch einen Anstrich mit Teer und Terpentinöl wasserdicht gemacht ist. Das Segeltuch wird

innerhalb der Wandeingehängt und durch aufgenagelte Bretter in seiner Lage erhalten, der untere Rand wird durch Rundeisenstangen oder Ziegelsteine beschwert, s. Abb. 19.

Statt des Holzes wird für die Spundwände auch vielfach das Eisen verwendet, in früherer Zeit das Gußeisen, dann Wellblech, Profileisen wie I- und C-Eisen und in neuerer Zeit besonders gewalzte Profileisen. Von den neueren eisernen Spundwänden kommen zurzeit hauptsächlich die nietlosen Formen, wie Bauart Larssen, Abb. 5, und Bauart Rothe Erde, Abb. 6, und

andere, in Betracht. Die nietlosen Formen haben den Vorzug vor den aus gewöhnlichen Eisensorten genietet, daß sie leichter und billiger sind, und daß die symmetrisch zur Achse angeordnete Form, die Doppelwelle, eine einwandfreie Berechnung gestattet, indem das Widerstandsmoment auf die Achse dieser Doppelwelle bezogen werden kann. Allgemein sind eiserne Spundwände namentlich da zu empfehlen, wo im Boden viel Hindernisse, wie Steine, enthalten sind, oder, wenn unten weicher Fels oder fester Mergel oder Ton ansteht, in den sich keine hölzernen Bohlen mehr eintreiben lassen. Sie rammen sich leicht, verursachen nur geringe Rammerschütterungen und lassen sich auch leicht wieder ziehen, besonders die leichten, nietlosen Profile.

Auch aus Eisenbeton werden Spundwände hergestellt und kommen vorzüglich da zur Anwendung, wo die Spundwand später einen wesentlichen Teil des Fundamentes bilden soll, und ferner auch bei Seebauten, wenn der Bohrwurm zu befürchten ist.

Ist wegen höheren Wasserdruckes die einfache Spundwand nicht mehr ausreichend dicht herzustellen, so kommen die Fangedämme zur Anwendung.

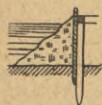


Abb. 7.

Die einfachste Form bei Wasserständen unter 1,5 m ist eine Holzwand, die je nach den Umständen eine einfache Bretterwand, eine Stülpwand oder eine Spundwand sein kann und sich gegen einen von leichten Spitzpfählen getragenen Holm lehnt, und gegen welche dann eine Erdschüttung eingestampft wird, Abb. 7. Der Boden muß gehörig festgestampft werden und aus wenig Wasser durchlassendem Ton oder Lehm bestehen; sandiger, nicht zu trockener Lehm ist im Vorzuge gegen



fetten und trockenen, weil er sich dichter schichten läßt. Die wasserseitige Böschung der Erdschüttung muß gegen Abspülen durch Rasenbelag oder eine Spreitlage gesichert werden. Bei starkem Wellenschlag, stärkeren Strömungen und Wassertiefen über 1,5 m wendet man sogenannte Kastenfangedämme an, welche im wesentlichen aus 2 parallelen senkrechten oder auch nach oben etwas zusammengezogenen Wänden bestehen, zwischen die man das Dichtungsmaterial bringt. Ihre einfachste Herstellung erfolgt in der Weise, daß man

in Abständen von 1,5 bis 2 m in 2 Reihen Pfähle einschlägt, die durch Holme verbunden werden, und diese durch aufgekämmte Zangen in gleichem Abstand erhält, Abb. 8.

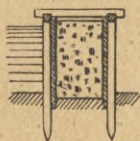


Abb. 8.



Abb. 9.

Gegen die Innenseite der Pfähle werden dichte Bretter- oder Bohlenwände gesetzt, und zwar wird bei Wassertiefen über 2 m die innere Wand als Spundwand, die äußere als Stülpwand ausgeführt. Bei großen Wassertiefen wendet man sowohl innen wie außen Pfahl- oder Spundwände an, oder stellt auch 3 Wände her, von denen dann die innerste nur halb so hoch gemacht und durch Zangen und Streben gegen die mittlere abgesteift wird, Abb. 9. Durch die mittlere Holzwand werden etwaige Wasseradern, die sich durch den Dichtungsstoff ziehen könnten, wirksam unterbrochen.

Die Höhe der Fangedämme muß den höchsten Wasserstand um 0,3—0,5 m überragen, wenn nicht bei geringer Wahrscheinlichkeit von Störungen durch Hochwasser im Interesse sparsamer Ausführung die Höhe niedriger

gehalten werden kann und gelegentliche Überflutungen keinen besonderen Schaden verursachen. Die Stärke der Fangedämme wählte man früher gleich der Höhe  $h$ , solange die Höhe etwa 3 m nicht überschritt, bei größeren Höhen  $= 0,5 h + 1,25$  m. Diese Regeln sind aber willkürlich und werden in neuerer Zeit nur wenig oder gar nicht mehr beachtet. Wesentlich für die Bestimmung der Stärke sind Jahreszeit der Bauausführung und Dauer, sowie der Charakter des Gewässers. Bei einer Ausführung von kurzer Dauer in einer Jahreszeit, welche wenig Wahrscheinlichkeit für den Eintritt hoher Wasserstände bietet, kann man die Stärke geringer greifen als bei Gründungen, die über einen längeren Zeitraum sich erstrecken, in welchem auch Hochwasser und Stürme mit Wahrscheinlichkeit zu erwarten sind. Die Spundbohlen der Innenwand und die Pfähle der Außenwand rammt man etwa ebenso tief ein, als das Wasser Tiefe hat, wegen der Festigkeit gegen seitlichen Druck allein ist eine größere Tiefe als 4,5 m kaum erforderlich.

Vor Einbringen des Füllstoffes muß der lockere und durchlässige Boden zwischen den Holzwänden entfernt werden, damit der Füllstoff, der wieder aus dichtem bindenden Boden bestehen muß, möglichst bis auf eine undurchlässige Schicht hinabreicht. Zeigen sich bei Fangedämmen mit Erdfüllung größere Quellen, so sind sie möglichst von außen durch einen Kasten oder eine leichte Spundwand zu umfassen und mit Dichtungstoff, Ton, Zementsäcken usw. zu verstopfen.

Bei Gründungen auf Beton stellt man zweckmäßig die Fangedämme im Anschluß an die Sohle gleichfalls aus Beton her. Es wird dann die äußere Wand, namentlich wenn sie zum dauernden Schutz des Fundamentes

dient, als Spund- oder Pfahlwand stärker und tiefer gemacht. Diese äußere Wand muß zunächst vollständig fertiggestellt werden, darauf wird die Sohle in der Baugrube bis zum tragfähigen Baugrund ausgehoben, die Betonsohle eingebracht und auf die noch frische Schüttung die innere Wand des Fangedammes gestellt und ein wenig eingetrieben. Am unteren Ende, wo diese Wand nur geringen Halt hat, ist eine gute Aussteifung anzubringen, Abb. 10.

Statt der Fangedämme aus einzelnen Wänden mit eingeschüttetem Dichtungstoff stellt man auch geschlossene und abgedichtete Umhüllungen aus Holz oder Eisen her, die man im ganzen versenkt. Solche beweglichen Fangedämme sind mit gutem Erfolg bei Pfeilern auf Felsboden in großen Wassertiefen und bei starkem Stromangriff zur Ausführung gekommen. Die Bauausführung gleicht derjenigen mit Senkkasten, Abschnitt IV, 4, und kann daher hier auf diese verwiesen werden.

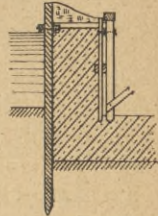


Abb. 10.

### 3. Trockenlegung und Trockenhaltung der Baugrube.

Wenn Grundwasser oder fließendes Wasser vorhanden ist und die Gründung unmittelbar auf der Baugrubensohle erfolgen kann, so muß diese vor Beginn des Grundbaues trocken gelegt und gehalten werden. Dies kann durch andauerndes Abpumpen des Wassers, durch Absenken des Wasserspiegels mittels Brunnen oder durch Verdrängen des Wassers mittels Druckluft erfolgen.

Das Auspumpen des Wassers ist die bei offenen Baugruben früher am meisten verwendete Art der

Trockenhaltung und besteht darin, daß das durch den Boden und durch Undichtigkeiten der Umschließung in die Baugrube eindringende Wasser durch andauerndes Pumpen oder Schöpfen in dem Maße entfernt wird, daß die Baugrubensohle trocken erhalten bleibt. Das sich in der Baugrube ansammelnde Wasser wird in Gräben oder in Sickerleitungen aus Schotter, Kies oder Dränröhren nach einer außerhalb des eigentlichen Fundamentes angelegten Grube, dem Pumpensumpfe, geleitet und hier durch Wasserschöpfmaschinen entfernt. Da der größte Wasserzudrang längs der Einschließung der Baugrube stattzufinden pflegt, so legt man hier zweckmäßig einen Graben oder eine Sickerleitung mit Gefälle zum Pumpensumpf an und macht die Fangedämme oder Spundwände entsprechend größer, als es das eigentliche Grundwerk erfordert und richtet auch in dem überflüssigen Raume oder in einem besonderen Ausbau den Pumpensumpf ein, dessen Seitenwandungen je nach Erfordernis durch Spundwände oder andere Verkleidungen gegen Einstürzen zu sichern sind. Zeigen sich in der Bausohle starke Quellen, die sich nicht schließen lassen wollen, so müssen auch diese in besonderen kleinen Kanälen zum Pumpensumpfe geführt werden, oder sie werden mit einem oben offenen Kasten bzw. einer Röhre umschlossen, die bis über den Außenwasserspiegel reicht. Dadurch wird die Quelle während der Bauausführung unschädlich gemacht, und nach Fertigstellung des Grundbaues wird dann der Hohlraum des Kastens oder der Röhre mit Beton ausgefüllt.

Über die Größe des Wasserzufflusses läßt sich Allgemeines nicht sagen, da sie von der Besonderheit des Einzelfalles abhängig ist. Einen Anhalt gewährt der Spiegelstand des offenen Wassers oder des Grundwassers

im Vergleich zur Höhenlage der Baugrubensohle, daneben die Durchlässigkeit des Bodens, die Einrichtung des Fangedammes usw. Man nimmt vielfach an, daß der Wasserzufluß proportional der Wurzel aus der Druckhöhe ist, und nimmt für 1 m Druckhöhe die minutliche Wassermenge für 1 qm Baugrube zu  $0,87$  l an. Daraus berechnet sich dann der Zufluß in der Minute für 1 qm Baugrube bei 2 m Druckhöhe zu  $\sqrt{2} \cdot 0,87 = 1,23$  l, bei 3 m Druckfläche zu  $\sqrt{3} \cdot 0,87 = 1,51$  l usw. Die Mangelhaftigkeit dieser Berechnung liegt aber auf der Hand, sie wird z. B. sogleich falsch, sobald Grundquellen auftreten, und man ist für die Größe der Wasserbewältigung auf Schätzung nach Erfahrung angewiesen.

Bei sehr starkem Wasserandrang ist es nicht immer vorteilhaft und bei stark quelligem Untergrunde sogar unmöglich, die Trockenhaltung der Baugrube durch anhaltendes Pumpen zu erzwingen, weil einmal die Kosten unverhältnismäßig groß werden können und weil ferner der Untergrund durch das aufquellende Wasser so sehr gelockert werden kann, daß er seine sonst vorhandene Tragfähigkeit verliert. In solchen Fällen muß man daher von dem Abpumpen des Wassers absehen, die von Spundwänden umschlossene Baugrube ausbaggern und ein je nach Erfordernis starkes Betonbett unter Wasser einbringen, nach dessen Erhärtung man dann die Baugrube leerpumpen und den weiteren Grundbau im Trockenen ausführen kann.

Wo es die Bodenverhältnisse und der Wert des Bauwerks gestatten, ist aber in allen Fällen diejenige Wasserbewältigung für die Sicherheit des Bauwerks die günstigste, welche den Grundwasserstand vor dem Aushub der Baugrube so weit senkt, daß das Aufquellen

des Wassers eine Lockerung des Baugrundes nicht mehr befürchten läßt. Es läßt sich dies dadurch erreichen, daß man rund um die Baugrube herum Brunnen herstellt, welche in die wasserführende Schicht tiefer hinabreichen als die Sohle des Bauwerks. Die Anzahl der erforderlichen Brunnen hängt von der Größe der Baugrube und des Wasserzufflusses ab. Bei großen Bauwerken mit langer Bauzeit werden wenige größere gemauerte oder betonierte Brunnen angewandt, aber man kann mit diesen nur dann eine genügende Senkung des Grundwasserspiegels erzielen, wenn die wasserführende Schicht aus sehr durchlässigem groben Gerölle besteht, oder wenn sie von einer wasserundurchlässigen Schicht überlagert ist. Wo keines von beiden der Fall ist, muß man die Brunnen enger stellen und wählt am zweckmäßigsten eiserne Röhrenbrunnen, die man nach beendeter Arbeit wieder gewinnen kann. Die Grundwasserabsenkung mit Röhrenbrunnen ist das jetzt auch bei kleinen Baugruben allgemein übliche Verfahren. Es besteht darin, daß man zunächst die Baugrube bis zum freien Grundwasser aushebt, dann in oder außerhalb der Baugrube die erforderliche Zahl Röhrenbrunnen eintreibt, diese an eine gemeinsame Saugleitung anschließt und mit einer Pumpe verbindet. Zahl, Abstand und Tiefe der Brunnen richtet sich nach der erforderlichen Absenkungstiefe und nach der Beschaffenheit und Tiefenlage der wasserführenden Bodenschichten. Die Wirkung der Röhrenbrunnen ist um so größer, je durchlässiger der wasserführende Boden ist, und um so kleiner, je weniger der Boden das Wasser durchläßt. Die Wirkung ist also bei grobem Sand größer als bei feinem Sand, und hiernach muß der Abstand der Brunnen bestimmt werden, er beträgt 4 bis 10 m.

Zur Herstellung der Röhrenbrunnen wird zunächst ein Bohrloch mit Futterrohr von gewöhnlich 200 mm Weite bis in die wasserführende Schicht und etwa 4 bis 5 m unter Bausohle abgeteuft. Darauf wird in das Futterrohr das Brunnenrohr von 150 mm Weite eingesetzt und das Futterrohr wieder herausgezogen. Das Brunnenrohr ist im unteren Teile durchlöchert, mit Gaze umwickelt und so als Filterrohr ausgebildet. In dieses Filterrohr wird das Saugrohr von 100 mm Weite eingeführt und an die nach der Pumpe führende Saugleitung angeschlossen. Zwischen Saugrohr und Pumpenleitung wird zweckmäßig eine Rücklaufklappe eingeschaltet, und in der Pumpenleitung müssen mehrere Ventile eingebaut werden, um einzelne Abschnitte der Anlage ausschalten zu können. Für die Pumpenleitung von 200 bis 300 mm Weite werden am zweckmäßigsten Muffenrohre verwandt, deren Verlegung und Dichtung mit Gummiringen am einfachsten ist. Das Filterrohr muß so hergerichtet sein, daß nur Wasser und nie Sand eindringen kann, je feiner der Sand, um so dichter muß auch die Filtergaze sein. Bei ganz feinem Sand werden zweckmäßig noch Kiesfilter um das Filterrohr hergestellt, welche den feinen Sand zurückhalten. Die Pumpenanlage besteht in der Regel aus einer Zentrifugalpumpe, welche von einer Lokomobile oder einem Elektromotor angetrieben wird. Für die Pumpenanlage muß aber stets eine Reserve vorhanden sein, damit bei einem Versagen des Motors durch das schnelle Ansteigen des Wassers kein Schaden angerichtet wird. Bei elektrischem Antrieb ist entweder eine Dampfreserve oder der Anschluß an ein zweites Stromnetz vorzusehen.

Mit dem Beginn des Pumpens sinkt der Wasserstand erst langsam, man kann bei gut durchlässigem Bo-

den annehmen, daß die Senkung von 1 m etwa 15 Stunden dauert. Je feiner der Sand ist, desto langsamer geht ein Sinken des Wasserstandes von statten, und da auch die Brunnen desto dichter aneinander gesetzt werden müssen, so wachsen also mit der Feinheit des Sandes die Anlagekosten, während die Betriebskosten mit der Feinheit des Sandes geringer werden, weil weniger Wasser den Brunnen zuströmt. Daraus folgt, daß Grundwasserabsenkungen in sehr feinem Sande nur bei großen Bauwerken, die lange Zeit für die Herstellung erfordern, wirtschaftlich sind. Auch ganz dünne wasserundurchlässige Schichten im Untergrunde können den Erfolg einer Grundwasserabsenkung beeinträchtigen, denn es ist wiederholt beobachtet worden, daß eine zwischen den wasserführenden Schichten befindliche Tonschicht von nur wenigen Zentimetern Stärke verhindert, daß das oberhalb stehende Grundwasser sich absenkte, während unter der Tonschicht die Sand- und Kiesschichten vollkommen trocken gelegt waren.

Die Grundwasserabsenkung ist besonders bei dem Bau der Untergrundbahnen in Berlin in großem Maße angewendet und vervollkommenet worden. Die Röhrenbrunnen von 150 bis 200 mm Weite sind in Abständen von etwa 9 m angeordnet, ihre Tiefe betrug 10 bis 11 m, es genügte teilweise eine Reihe Brunnen zur Trockenlegung der Baugrube in ganzer Breite. Jede Pumpenanlage umfaßte etwa 40 Brunnen und die Pumpenleistung betrug dabei 120 bis 150 l für 1 Sekunde. Eine weitere bemerkenswerte Grundwasserabsenkung ist auch beim Bau der dritten Schleuse bei Hausweert (Niederlande) zur Ausführung gekommen. Die Baugrube für die 150 m lange und 40 m breite Schleuse wurde mit einer Ringleitung umschlossen, an die sich



80 Brunnen in Abständen von 6,60 m anschließen. Zwei Pumpstationen mit je drei elektrisch angetriebenen Zentrifugalpumpen von je 4 cbm minutlicher Leistung bei 14 m Förderhöhe bewirkten die Senkung des Grundwasserspiegels um 7 m. Für jeden Brunnen wurde ein Bohrloch von 300 mm Weite gebohrt, darin das 100 mm weite Filterrohr und in dieses das 50 mm weite Saugrohr gestellt. Während des Aushubs der Baugrube zeigte sich, daß 60 Brunnen und eine Pumpstation zur Absenkung des Grund-

wassers ausreichen. Es empfiehlt sich daher, bei großen Anlagen vorher

Versuchsbrunnen in Betrieb zu nehmen und nach deren Wirkung die erforderliche Be-

triebskraft, die Tiefe und den Abstand der Brunnen zu ermitteln.

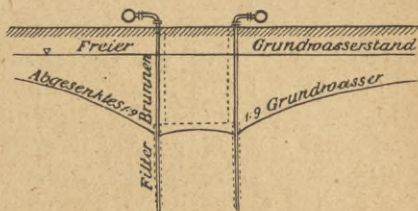


Abb. 11.

Jetzt ist die Grundwasserabsenkung ein allgemein übliches Verfahren zur Trockenlegung von Baugruben geworden, sie gewährt den Vorteil, daß die Baugrube im Trockenen ohne wasserdichte Einschließung ausgehoben werden kann und daß der Auftrieb, also die Quellbildung in der Bausohle verhindert wird. Bei Anlage der Röhrenbrunnen in mehreren Staffeln kann bei geeigneten Bodenverhältnissen die Absenkung bis zu beliebiger Tiefe ausgeführt werden. Das abgesenkte Grundwasser bildet eine Kurve und das Gefälle der Senkkurven beträgt bei größerem Sande in der Nähe der Röhrenbrunnen etwa 1:9 (Abb. 11).

Bei allen Wasserhaltungsarbeiten ist darauf zu achten, daß keine Bodenbestandteile des Nachbargrundstückes in die Baugrube hineingeschwemmt oder die Raum- und Druckverhältnisse im Boden des Nachbargrundstückes nicht verändert werden, weil sonst eine Schadensersatzpflicht vorliegt. Daher ist auch die Grundwasserabsenkung zu vermeiden, wenn durch die Wasserentziehung der Boden des Nachbargrundstückes sich zusammendrücken kann, wie bei moorigen und schlammigen Bodenarten.

Die Verdrängung des Wassers mittels Druckluft geschieht bei der Druckluftgründung, Abschnitt IV 6, indem in einem unten offenen, oben geschlossenen Kasten von der Form und Größe des Grundwerks, der sogenannten Arbeitskammer, die Luft durch Luftpumpen so verdichtet wird, daß sie das unten in den Kasten einzudringen bestrebte Wasser verdrängt, und daß daher im Schutze dieses Kastens sowohl die Baugrube unter Wasser auf die erforderliche Tiefe ausgehoben, als auch bei erreichter genügender Tiefe das Grundwerk ausgeführt werden kann. Ist die Ausdehnung des Grundwerks für einen Kasten zu groß, so können nebeneinander mehrere derartige Kästen angewendet werden, was einer Teilung des Grundwerks in mehrere nebeneinanderliegende Teile entspricht. Diese Ausführungsweise ist bis zu Tiefen von 25 bis 30 m sowohl in stehendem als in fließendem Wasser möglich.

Als Wasserschöpfmaschinen kommen für die Gründungen von Brückenpfeilern zurzeit im wesentlichen nur in Betracht als Handpumpen die Ventilpumpen ohne Kolben, die Diaphragmapumpen, und als Maschinenpumpen die Zentrifugalpumpen, die Dampf-

druckpumpen, Pulsometer, und Preßluftpumpen, Mammutpumpen\*).

Für die Wahl der Wasserhebevorrichtung sind hauptsächlich maßgebend die zu bewältigende Wassermenge und die Zeit, innerhalb welcher sie zu heben ist, die Förderhöhe und die Beschaffenheit des zu hebenden Wassers. Da das Wasser in Baugruben meist durch Erd- und Sandteilchen verunreinigt ist, so sind nur Pumpen mit einfach ausgebildeten und leicht zugänglichen Ventilen zu wählen, und dieser Anforderung entspricht am besten die Diaphragmapumpe. Um die Saughöhe der Pumpe möglichst ausnützen zu können, muß sie möglichst tief aufgestellt werden. Ebenso ist auch der Ausfluß des Wassers aus der Pumpe so niedrig als möglich anzuordnen. Da der Wasserzufluß von vornherein nicht mit Sicherheit angenommen werden kann, so muß stets für eine gehörige Steigerungsfähigkeit der Leistung der gewählten Pumpe, bis zu 100<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, Vorsorge getroffen werden, wenn man einigermaßen sichergehen will.

## IV. Beschreibung der einzelnen Gründungsarten.

### 1. Befestigung schlechten Baugrundes.

Bei wenig belasteten Fundamenten oder bei so tiefer Lage des tragfähigen Baugrundes, daß die Hinabführung der Fundamente ungerechtfertigt hohe Kosten verursachen würde, kann nachgiebiger, zusammendrückbarer Boden vor der Gründungsausführung verdichtet und dadurch gewissermaßen verbessert werden.

Diese Verdichtung des Bodens kann geschehen:

a) Durch Einrammen von Schotter oder Bau-

---

\*) Ausführliche Beschreibungen im Handbuch der Ingenieurwissenschaften Bd. IV, Baumaschinen, Kap. I.

schutt oder hochkantig gestellten Steinen in den losen Grund, indem so lange weitere Schichten aufgebracht werden, bis Probelastungen eine genügende Tragfähigkeit ergeben. Bei elastischem Boden muß man aber die Probelastung einige Wochen auf den verdichteten Boden wirken lassen.

b) Durch Herstellen von Sand- oder Betonzylinder, indem Pfähle in den Boden eingerammt, wieder herausgezogen und die dadurch gebildeten Löcher mit Sand oder Beton ausgestampft werden. Durch das Einrammen der Pfähle wird der Boden an sich verdichtet, durch die Ausfüllung der Löcher mit widerstandsfähigem Material in dieser Verdichtung erhalten, und wenn die Sand- oder Betonzylinder bis auf den festen, tragfähigen Boden hinabreichen, bilden sie tragende Pfeiler, wie es u. a. bei der Bauweise Dulac der Fall ist. Hierbei wird von einer Dampftramme durch Fallenlassen von kegelförmigen etwa 1500 kg schweren Rammbaren eine Röhre in dem Boden hergestellt, indem der kegelförmige Bär beim Herabfallen den Boden zur Seite drückt und verdichtet. Stößt man dabei auf wasserführende Schichten, so läßt sich das Eindringen des Wassers vorübergehend beheben, indem man Ton in die Röhren bringt und ihn durch Nachrammen in die Seitenwände einpreßt. Sobald die Röhre die gewünschte Tiefe erreicht hat, wird sie mit Beton in Lagen von 50 cm Höhe ausgefüllt, die jedesmal durch einige Rammschläge festgestampft und fest an die verdichteten Bodenwände getrieben werden. Die Röhre erweitert sich dabei je nach der Zusammendrückbarkeit des Bodens, so daß der fertige Betonpfeiler bis zur fünffachen Menge mehr Material enthält als die Röhre.

c) Durch Einpressen von Zement in lockere

Kies- und Sandschichten, wodurch diese gewissermaßen in Beton verwandelt werden.

Können diese Bodenverbesserungen nicht angewendet werden oder ist die Bodenbeschaffenheit eine minder günstige, so kann durch eine Verbreiterung der Fundamente der Druck auf eine größere Fläche verteilt und dadurch die Pressung auf die Flächeneinheit so weit vermindert werden, daß der Brückenpfeiler standfest wird. Diese

Verbreiterung der Fundamente kann erfolgen durch:

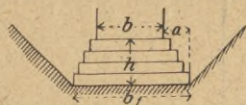


Abb. 12.

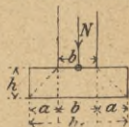


Abb. 13.

a) Mauerbankette, Abb. 12. Damit kein Abscheren oder Abtrennen der vorspringenden Stufen vom Kern des Mauerwerks erfolgen kann, muß die Stufenbreite der Abtreppe im Verhältnis zu ihrer Höhe keine zu große werden. Als Grenze des Verhältnisses der Ausladung zur Höhe kann für die einzelnen Stufen 1:1,2 bis 1:1 und für den ganzen Vorsprung des Grundbaues 1:1,5 angesehen werden. Soll der Druck  $\sigma$  an der Pfeilergrundfläche auf  $\sigma_1$  an der Fundamentsohle herabgemindert werden, so muß unter der Annahme einer gleichmäßigen Druckübertragung durch die einzelnen Stufen und unter Außerachtlassung der Elastizität des Fundamentkörpers  $b \cdot \sigma = b_1 \cdot \sigma_1$  und

$$b_1 = \frac{b \cdot \sigma}{\sigma_1}$$
 werden. Die Gesamtausladung  $a$  auf der einen Seite wird dann bei symmetrischer Anordnung 
$$a = \frac{b_1 - b}{2}$$
, und die Höhe  $h$  muß mindestens  $1,5 a$  betragen.

b) Betonbett. Die Breite des Betonbettes  $b + 2a$ , Abb. 13, ergibt sich wieder aus der zulässigen Pressung

des Baugrundes  $\sigma_1$  und die Stärke  $h$  aus der Bedingung, daß das Biegemoment unter den Pfeilerkanten gleich sein muß dem Produkt aus Widerstandsmoment und zulässiger Biegebungsbeanspruchung des Betons, also  $= W \cdot k$ . Bei senkrechter und zentrischer Pfeilerlast  $N$  ist für die Längeneinheit und der zulässigen Pressung auf den Baugrund  $\sigma_1$  die Belastung für die seitlich überstehenden Teile  $a = a \sigma_1$  und das Biegemoment im Schnitte  $x = \frac{a^2 \sigma_1}{2}$ . Dies muß  $= W \cdot k = \frac{h^2 k}{6}$  sein,

daraus folgt  $h = \sqrt{\frac{3 a^2 \sigma_1}{k}}$ . Ist die Pfeilerlast  $N$  keine

senkrechte zentrische, so ermittelt man die Mittelkraft  $R$  aus Pfeilerlast und dem Gewichte des Betonbettes der Lage und Größe nach, bildet die der senkrechten Seitenkraft von  $R$  entsprechende Druckfigur nach Abschnitt I. 3, und ermittelt die Beanspruchung des Betonbettes  $k$  im Schnitte  $x$  durch die Belastung des überstehenden Teiles  $a$  aus der Druckfigur.

Die Zugbeanspruchung in dem Betonbett findet an der Unterkante des Fundamentes statt, und daher kann durch Einlage von Eisen die Widerstandsfähigkeit sehr erhöht werden. Ein solches Betonbett mit Eiseneinlagen zur Aufnahme der Zugspannungen aus dem Biegemomente kann nun viel mehr verbreitert werden als ein einfaches Betonbett, und die Stärke kann gegenüber der Breite viel geringer genommen werden. Die Eiseneinlagen liegen bei Brückenpfeilern sich kreuzend übereinander und sind nach beiden Richtungen gleich stark. Eine Sohle aus Eisenbeton bietet also die Möglichkeit zu einer weit größeren Verbreiterung des Fundamentes als ein einfaches Betonbett und die An-

wendung empfiehlt sich daher besonders da, wo bei mangelnder Gleichmäßigkeit des Untergrundes eine wirksame Ausgleichung des Fundamentdruckes zu erstreben ist. Sie kann außerdem sowohl im Wasser wie im Trockenem angewendet werden, ist also unabhängig von dem Wasserstand.

c) Liegender Rost. Wo die Fundamentsohle unter Wasser liegt und ihre Verbreiterung eines nachgiebigen Bodens wegen erforderlich ist, kann bei kleineren Brücken und Durchlässen der liegende Rost oder Schwellrost in Frage kommen. Er bietet nicht nur eine zweckmäßige Unterlage für das Fundament, sondern gibt ihm auch in wagerechter Richtung einen guten Zusammenhang. Jedoch muß bei der großen Biegsamkeit des Holzes mit einem allmählichen, keineswegs immer gleichmäßigen Sinken des gesamten Grundbaues gerechnet werden. Wo Unterspülung durch fließendes Wasser oder Quellen im Boden oder Auswaschen des Bodens durch Senkung des Wasserstandes zu befürchten sind, sichert man den Rost durch Steinschüttung, Faschinen oder Spundwände. Letztere müssen außer Zusammenhang mit dem Roste bleiben, weil sie sonst ungleiches Setzen veranlassen. Sie sind auch vor dem Verlegen des Rostes zu schlagen und bevor der Boden für das Fundament unter Wasser ausgehoben wird, weil beiderlei Arbeiten in der Spundwandumschließung nach Trockenlegung der Baugrube leichter ausführbar sind.

Auf die eingeebnete Bausohle werden gewöhnlich zu unterst die Querswellen, 20 bis 30 cm stark, in 1,0 bis 1,5 m Entfernung voneinander verlegt, darauf werden die etwas stärkeren Langswellen in Abständen von 0,5 bis 1,0 m verlegt und mit den Querswellen 5 bis 6 cm tief überschnitten, aber nicht verkämmt. Die Befesti-

gung geschieht durch hölzerne oder eiserne Nägel. Auf oder zwischen den Längsschwellen werden schließlich die Bohlen 5 bis 12 cm stark befestigt, Abb. 14.

In derjenigen Richtung des Rostes, in welcher hauptsächlich eine gleichmäßige Lastverteilung bewirkt werden soll, müssen die Hölzer möglichst wenig geschwächt werden. Sollen also die Hölzer in der Längsrichtung eine gleichmäßige Lastverteilung bewirken, was hauptsächlich der Fall sein wird, so sind die Bohlen über den Querschwellen zwischen die Längsschwellen zu legen. Alle Hohlräume unter dem Bohlenbelag müssen mit Schotter, Beton oder Kies gut voll gestampft werden. Als Holzarten können Eichen-, Lärchen-, Kiefern- oder Rotbuchenholz zur Verwendung kommen, da diese die Eigen-

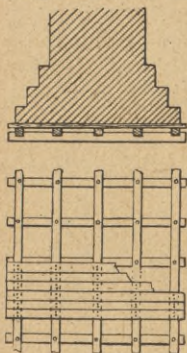


Abb. 14.

schaft einer fast unbegrenzten Dauerhaftigkeit besitzen, sobald sie beständig unter Wasser bleiben.

d) Umgekehrte Gewölbe. Sollen die Brückenpfeiler aus einzelnen Teilen oder mit Aussparungen hergestellt werden, so kann die Pfeilerlast auf die ganze überbaute Fläche verteilt werden, wenn die einzelnen



Abb. 15.

Pfeilerteile durch umgekehrte Gewölbe oder Erdbogen miteinander verbunden werden. Auch die einzelnen Pfeiler einer Brücke können bei nicht zu großem Abstände durch umgekehrte Gewölbe miteinander verbunden und so bei nachgiebigem Boden die ganzen überbauten Flächen zu tragenden gemacht werden, Abb. 15.



Der bessern Ausführung halber macht man unter den einzelnen Pfeilerteilen und den Gewölben eine schwächere Betonschicht oder stampft auch nur eine Schicht Schotter oder Kies in den Grund, um eine feste Unterlage und gleichzeitig eine Lehre für die untere Wölbfläche zu haben. An den Gewölbekämpfern müssen, wenn die Pfeiler nicht reichliche Stärke erhalten, Verankerungen angebracht werden, namentlich an den Ecken. An Stelle der umgekehrten Gewölbe werden in neuerer Zeit durchgehende Eisenbetonplatten verwandt, welche den gleichen Zweck der Lastübertragung erfüllen, ohne einen Seitendruck auf die einzelnen Pfeiler auszuüben.

e) Sandschüttung. Man nimmt gewöhnlich an, daß der Druck, welchen das Fundament auf die Sandschüttung ausübt, kegelförmig mit einem Winkel der Seiten von  $45^{\circ}$  nach unten sich fortpflanze, doch ist dies bisher noch nicht einwandfrei festgestellt worden. Da die Ausbreitung des Druckes durch die Reibung der vom Druck getroffenen Sandkörner gegen die seitlich von ihnen liegenden, nicht unmittelbar belasteten erzeugt wird, so muß sie abhängig sein von dem Reibungswert, d. h. von der Tangente des natürlichen Böschungswinkels  $\varphi$  des Sandes. Es wird also die Böschungslinie der Verbreiterung mit der Senkrechten günstigsten Falles den natürlichen Böschungswinkel einschließen, und je kleiner dieser ist, desto stärker wird man die Schüttung machen müssen, um eine genügend große Lastverteilung zu erzielen. Ferner wird man bei demselben Sande, wenn die Schüttung ganz unter Wasser liegt, eine geringere Lastverteilung erzielen als im Trockenen, weil der natürliche Böschungswinkel  $\varphi$  und mit ihm die Reibung sich im Wasser vermindert. Hiernach läßt sich die notwendige Stärke der Sandschüttung,

wenn für eine bestimmte Last  $P$  die zulässige Pressung  $\sigma_1$  des Baugrundes nicht überschritten werden soll, be-

rechnen aus der Gleichung 
$$\sigma_1 = \frac{N}{b + 2h \operatorname{tg} \varphi} + \gamma (h + t),$$

worin  $b$  die Breite der Fundamentsohle,  $h$  die Höhe der Sandschüttung,  $t$  die Tiefe derselben unter der Erdoberfläche und  $\gamma$  das Gewicht von 1 cbm Sand, Hinterfüllungserde und Fundamentstoff im Durchschnitt bezeichnet, Abb. 16. Für eine Sandschüttung, die ganz über Grundwasser liegt, kann man  $\varphi = 40^\circ$ ,  $\operatorname{tg} \varphi = 0,839$  und  $\gamma = 1800$  kg, für eine Sandschüttung ganz unter Wasser  $\varphi = 24^\circ$ ,  $\operatorname{tg} \varphi = 0,445$ ,  $\gamma = 2000$  kg nehmen. Die Pressung  $\sigma_1$  nimmt ab mit wachsender  $\operatorname{tg} \varphi$ , also mit zunehmendem Böschungswinkel, daher muß man möglichst scharfen

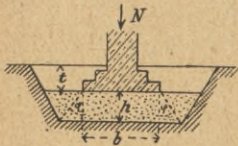


Abb. 16. † †

und nicht zu feinen Sand nehmen. In geringen Tiefen wird der Druck auf die Flächeneinheit größer, man darf daher auch die Sandschüttungen nicht zu schwach nehmen, um keine Überlastungen des Baugrundes zu erhalten.

Der Sand wird in Lagen von etwa 15 cm Stärke eingebracht, eingeschlämmt und gestampft. Bei Sandschüttungen unter dem Grundwasserspiegel darf das Wasser nicht von unten aus in die Schüttung eindringen, muß vielmehr unter derselben ausgeschöpft werden, auch darf kein starker Auftrieb vorhanden sein, da sonst der Zusammenhang und die Lagerung der einzelnen Sandkörner gelockert wird. Ist die Sandschüttung fließendem Wasser ausgesetzt, so muß eine feste Umschließung der Baugrube durch bleibende Spundwände vorausgehen.

## 2. Gründungen auf Beton unter Wasser.

Bei Gründungen in trockener Baugrube dient der Beton gewöhnlich nur dem Zweck der Sohlenverbreiterung, bei Gründungen im Wasser soll er in der Regel außerdem den Wasserzudrang zu der nach der Erhärtung des Betons trocken zu legenden Baugrube hindern, er muß also hier nicht nur fest, sondern auch dicht sein. Die Stärke der Betonschicht ist also bei Brückenpfeilern, bei welchen der Beton durch die Pfeilerlast nur auf Druckfestigkeit beansprucht wird, so groß zu machen, daß sie, wenn das Wasser aus der Baugrube entfernt ist, durch ihr Gewicht dem auf die Sohle wirkenden Wasserdrucke das Gleichgewicht hält. Dieser Zustand wird eintreten, wenn die Stärke des Betons bei Verwendung von Ziegelstein-Schotter etwa 0,63 und bei Verwendung von Bruchstein-Schotter etwa 0,5 der Höhe der drückenden Wassersäule ist.

Für die Betonschüttung wird die Baugrube mit Bretter- oder Spundwänden umschlossen, in fließendem Wasser jedenfalls mit bleibenden, später in entsprechender Tiefe abzuschneidenden Spund- oder Pfahlwänden, schon um während der Betonschüttung ruhiges Wasser zu erhalten und um das Betonbett später gegen Unterspülung zu sichern. Der Beton darf nämlich bei der Schüttung nicht mit bewegtem Wasser in Berührung kommen, er darf auch nicht frei durch das Wasser hindurchfallen, weil sonst ein Auswaschen, ein Trennen der noch nicht abgebundenen Betonbestandteile erfolgt. Aus dem gleichen Grunde darf auch während des Betonierens kein Wasserpumpen in der Baugrube stattfinden, um eine Bewegung des Wassers von unten nach oben zu verhindern, welche eine Auflockerung der Bau-

sohle bewirken könnte. Ist der Untergrund schlammig, so darf auch nicht unter der Betonschüttung eine Schicht trockenen Schotters oder Kies eingebracht werden, sondern man muß für die untere Schicht möglichst mörtelreichen Beton, aber mit möglichst wenig Wasser verwenden und mit diesem den Schlamm beiseite drängen. Denn in ersterem Falle bleiben zwischen der Schotter- oder Kiesschicht Hohlräume, die nur mit Schlamm gefüllt sind, und man erhält ein Fundament welches sich setzen wird. Bei schmalen, langgestreckten Betonkörpern, wie bei Fangedämmen, erfolgt die Schüttung am besten gleich in voller Höhe, indem man an einem Ende beginnend den Beton bis über Wasser schüttet und dann am oberen Rande der sich bildenden Böschung weiter schüttet, so daß der vorher eingebrachte Beton vorwärts geschoben und die Schüttung gleich in voller Höhe vorgetrieben wird. Der am Fuß der Böschung sich ansammelnde Schlamm muß fortlaufend entfernt werden.

Die gebräuchlichsten Geräte zum Versenken des Betons unter Wasser sind Trichter und geschlossene, erst nach dem Herablassen sich öffnende Kasten oder Säcke\*). Die Trichterschüttung findet mit Vorteil Anwendung, wenn nicht sehr breite, aber lange Betonfundamente in mäßiger Tiefe herzustellen sind. Die Trichter aus Holz oder Eisen werden zwischen Kähnen auf Schlitten, Laufrollen oder Wagen so angeordnet, daß sie stets zwei senkrecht zueinander stehende Richtungen bestreichen, also alle Punkte innerhalb der Baugrube erreichen können. Sie sind stets bis über Wasser mit Beton gefüllt zu halten, und durch eine gleich-

---

\*) Ausführlicheres über Versenkeinrichtungen für Beton siehe Brennecke, Grundbau.

mäßige Vorwärtsbewegung legen sich dann vom herausquellenden Beton auf der Baugrubensohle bandartige Streifen nebeneinander, bis eine Lage vollendet ist. In der nächsten kann man die Streifen senkrecht zur ersten Streifenrichtung legen und so fortfahren, bis die erforderliche Stärke der Betonschicht erreicht ist. Da aber infolge der Bildung von Zementschlamm die einzelnen Lagen sich nicht miteinander verbinden, so ist es zweckmäßiger, die Sohle gleich in voller Stärke zuschütten, indem man gleichzeitig mehrere Trichter unmittelbar hintereinander folgen läßt, von denen jeder um eine Lage, 40 bis 60 cm, höher schüttet, so daß also der folgende stets um die Stärke der Lage kürzer ist. Die Arbeit muß dabei möglichst ununterbrochen fortgesetzt werden, damit der Beton nicht im Trichter erhärten kann und eine Schlamm Bildung möglichst vermieden wird.

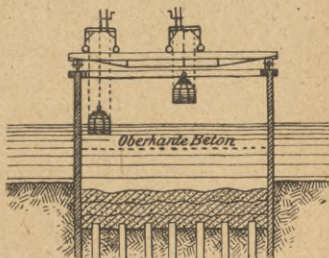


Abb. 17.

Bei großen Wassertiefen und engen Baugruben geschieht die Betonschüttung vorteilhafter mit Kasten, und je größer die Kasten sind, desto fester und dichter lagert sich der Beton. Man zieht daher in neuerer Zeit die Absenkung des Betons in großen Kasten der Trichterschüttung vor. Die Kasten aus Holz oder Eisen werden in geschlossenem Zustande mit Beton gefüllt, mittels Hand- oder Dampfwinden herabgelassen und unmittelbar über dem Boden durch eine Zugvorrichtung oder selbsttätig geöffnet und entleert, Abb. 17.

Bei kleineren Ausführungen werden statt der Kasten auch wasserdichte Säcke verwandt, die am Boden der Baugrube durch eine Zugvorrichtung geöffnet und nach ihrer Entleerung wieder hochgezogen werden, um sie von neuem zu benutzen.

Bei allen Betonschüttungen unter Wasser entstehen durch Absonderung von Kalkschlamm, durch Auswaschen feiner Mörtel- und Sandteile Verluste, und ist daher mit einem gewissen Mehr an Betonmasse zu rechnen, das zu 1,1 bis 1,2 der Maße des Betonbettes angenommen werden kann.

### 3. Gründungen auf Pfahlrost.

Der Pfahlrost aus Holz, wohl die älteste Tiefgründung, besteht aus eingerammten Rostpfählen die einen dem Schwellrost ähnlichen Balkenrost tragen, auf welchem der Fundamentkörper errichtet wird. In neuerer Zeit werden statt der Holzpfähle vielfach Eisen- oder Betonpfähle verwandt, namentlich wo stark wechselnder Wasserstand die Anwendung von Holzpfählen verbietet.

Bei der Anwendung eines Pfahlrostes sind zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Die Pfähle stehen ihrer ganzen Länge nach in einem Boden von nahezu gleicher Festigkeit, auf den sie ihre Belastung fast ausschließlich durch die Reibung an den Seitenwänden übertragen.

2. Die Pfähle stehen mit ihren Spitzen auf oder in festem Grunde, während sich der übrige Teil in ganz losem Erdreich (Schlamm, Moor oder dgl.) befindet, sie geben also ihre Last durch unmittelbaren Druck auf den festen Baugrund ab, während die Tragfähigkeit des darüberliegenden Bodens nicht in Frage kommt.

Weiter unterscheidet man den tiefen Pfahlrost, bei dem die Pfähle kurz oberhalb des Grundes abgeschnitten werden und deshalb auch Grundpfähle genannt werden, und den hohen Pfahlrost, bei welchem die Pfähle hoch hinauf, oft bis dicht unter oder sogar noch über den niedrigsten Wasserstand, hinaufreichen. Müssen die Pfähle abwechselnd der Einwirkung des Wassers und der Luft ausgesetzt werden, so ist Eichenholz zu verwenden, während sonst Kiefernholz zu bevorzugen ist.

Die Rostpfähle werden durch Einrammen oder Einspülen in den Boden eingetrieben. Bei Holzpfählen nimmt man das Wipfelende nach unten, da das stärkere Stammende unter den Rammschlägen weniger leidet und der Pfahl in dieser Stellung, nach oben zunehmend, eine größere Tragfähigkeit hat. Der Pfahl erhält unten eine Zuspitzung, um das Eindringen in den Boden zu erleichtern, die Form der Spitze soll die eines abgestumpften Kegels und ihre Höhe etwa gleich der mittleren Pfahlstärke und nicht über 50 cm sein. Bei festem, namentlich steinigem Boden werden die Spitzen der Holzpfähle mit eisernen Pfahlschuhen versehen. Der Pfahlkopf muß, um unter den Schlägen des Rammbaren nicht zu zersplittern, wie bei den Spundwänden mit einem geschmiedeten, etwas konisch gearbeiteten Pfahlring umgeben werden.

Über den Pfahlköpfen ist ein Belag zur Aufnahme des Fundamentkörpers anzuordnen. Man legt zu diesem Zwecke zunächst in der Längsrichtung die Rostschwellen oder Grundswellen, 20/25 bis 25/30 cm stark, welche auf die Pfahlköpfe aufgezapft werden, quer zu diesen in Abständen von 2,5 bis 3,0 m die Zangen, meist 15/20 cm stark und mit den Schwellen verkämmt oder verblattet,

und zwischen oder auf den Zangen wird schließlich der Belag aus 8—10 cm starken Bohlen aufgenagelt (Abb. 18). Die Stöße der Rostschwellen legt man mit Verwechslung meist stumpf auf den Pfahlköpfen und sichert sie durch aufgenagelte Eisenlaschen.

Hohe Pfahlroste umgibt man häufig mit Spundwänden wie Abb. 18, und diese können außer zur Wasserhaltung während des Baues auch zum Tragen mit benutzt werden, indem man die Zangen und den Belag über die verholzte Spundwand hinwegführt. Doch ist dies nur zulässig, wenn die Füße der Spundbohlen in festem Boden stehen und keine ungleichmäßige Unterstützung der Fundamentsohle eintritt, um ein ungleiches Setzen zu verhüten.

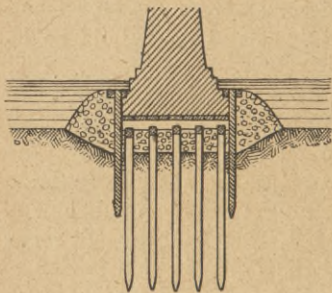


Abb. 18.

Bei dem niedrigen Pfahlrost werden die eingerammten Pfähle in geringer Höhe über dem Boden der Baugrube abgeschnitten und entweder wie früher allgemein mit einem Rostbelag versehen oder wie in neuerer Zeit größtenteils mit Beton umschüttet, der dann durch Eiseneinlagen noch verstärkt werden kann. Das Aufbringen des Rostes geschieht im Trockenen, indem die Baugrube durch Pfahlspundwände oder Fangedämme abgeschlossen wird, und das Einbringen des Betons kann entweder im Trockenen oder unter Wasser erfolgen. Soll die Baugrube trocken gelegt werden, so rammt man gewöhnlich erst, nachdem dies geschehen, die Grundpfähle



ein, schneidet sie 0,3 bis 0,5 m über dem Grunde ab und stampft den Beton zwischen die Pfahlköpfe ein (Abb. 19). Ist die Baugrube nicht vorher trocken zulegen, so rammt man Spundwände und Grundpfähle von schwimmenden oder Senkrüstungen aus, schneidet die Pfähle unter Wasser mit der Pendelsäge etwa 0,5 m über dem Grunde ab und betoniert zwischen und über den Pfahlköpfen, am besten mit Kastenschüttung. Die Betonschüttung bietet noch den Vorteil, daß die Tragfähigkeit des Bodens um die Pfähle herum mit ausgenützt wird, während dies bei einem Rostbelag nicht zu erwarten ist. Sind die Pfähle tragfähig genug, so kann man durch Einlegen von Eisen die Betonplatte nicht nur schwächer halten, sondern auch über die Pfähle überkragen lassen.

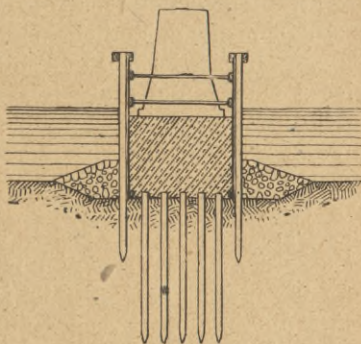


Abb. 19.

Betonpfähle als Ersatz für Holzpfähle haben den Vorzug, daß man bei Anwendung derselben nicht vom Grundwasserstande abhängig ist und daß aus ihnen hergestellte Grundwerke weder vom Bohrwurm noch vom Rost angegriffen werden. Man kann sie also auch dort anwenden, wo das Grundwasser sehr tief steht oder wenn ein Sinken des Grundwasserspiegels zu erwarten ist, wie oft infolge von Kanalisierung von Städten oder von Flußregulierungen, und hat nicht nötig, mit dem Fundament bis unter das Grundwasser hinunterzu-

gehen. Dadurch können unter Umständen sehr bedeutende Ersparnisse erzielt werden. Auch können Betonpfähle inniger als Holzpfähle mit der sie abdeckenden Betonschicht verbunden werden, besonders wenn in die Pfahlköpfe Eiseneinlagen eingestampft oder Eisenbetonpfähle verwandt und die Eisen der Pfähle mit den Eiseneinlagen der Betonplatte verbunden werden.

Anfänglich stellte man die Betonpfähle in der Weise her, daß man gewöhnliche Holz- oder eiserne Pfähle bis zur erforderlichen Tiefe eintrieb, diese Pfähle dann wieder auszog und die gebliebenen Löcher mit Beton ausfüllte. Dieses einfache Verfahren ist aber nur dort anwendbar, wo die Kohäsion des Bodens groß genug ist, um das Einfallen der Pfahllöcher zu verhindern, also in lehmigem, tonigem und moorigem Boden, und auch hier ist man keineswegs sicher, einen festen Betonpfahl zu erhalten. Das Verfahren ist daher vielfach weiter ausgebildet worden, man treibt jetzt eiserne Röhren entweder durch Rammen oder durch Ausbohren in den Boden ein und stampft in diese Beton, indem man gleichzeitig die Röhren schrittweise wieder herauszieht, wie bei den Systemen Simplex, Raymond, Strauß u. a. (Abb. 20 a), oder man treibt dünne Blechrohre, welche mit einer festen Rammspitze versehen sind, mit Hilfe eines Rammkernes in den Boden ein und stampft sie nach dem Herausziehen des Rammkernes mit Beton aus, das sind die sogenannten Blechrohrbetonpfähle (Abb. 20 b). Der grundsätzliche Unterschied bei diesen beiden Bauarten ist also, daß entweder ein dickwandiges Rohr in den Boden eingetrieben und während der Ausbetonierung des Loches wieder herausgezogen wird, oder daß ein dünnes Blechrohr mit Hilfe eines Rammkernes eingetrieben wird, welches auch nach dem Aus-

betonieren im Boden verbleibt. Im ersteren Falle ist also nur ein Vortreibrohr erforderlich, aber es kommt der frische Beton sogleich mit dem Boden und dem Grundwasser in Berührung, und die Stärke des Pfahles wird ungleichmäßig, im anderen Falle ist für jeden Pfahl ein Blechrohr erforderlich, aber dieses schützt

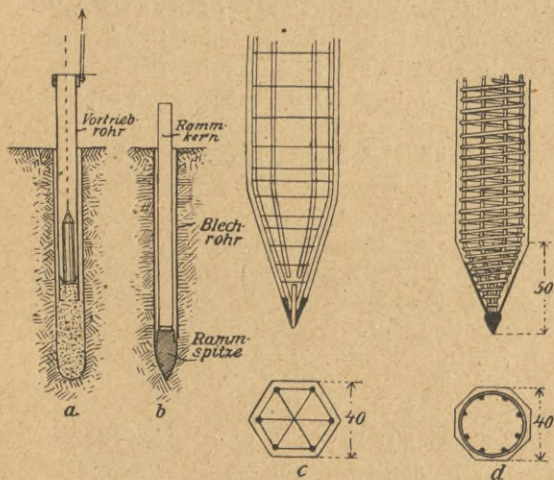


Abb. 20.

dann auch den frischen Beton und die Stärke des Pfahles ist eine gleichmäßige. Das letztere Verfahren ist also vorzuziehen, sobald der Untergrund Bestandteile enthält, welche eine Erhärtung des Betons verhindern oder beeinträchtigen, oder wenn ein Auswaschen des frischen Betons durch das Grundwasser zu befürchten ist. Die Preßbetonpfahlgründung von Wolfsholz, bei welcher das Grundwasser mittels Preßluft aus dem abgeteuften Bohr-

rohr ausgeblasen und der Beton durch Preßluft eingepreßt wird, indem das Bohrrohr gleichzeitig selbsttätig wieder hochsteigt, vermindert durch die gleichzeitige starke Komprimierung der benachbarten Erdschichten jedenfalls die Gefahr des Auswaschens des frischen Betons.

Außer diesen Beton-Stampfpfählen, die nach Bildung entsprechender Löcher oder in eingetriebenen Formen in endgültiger Stellung im Boden hergestellt werden, werden nun auch Beton-Rammpfähle in besonderen Formen vorher angefertigt und nach ihrer Erhärtung in üblicher Weise eingerammt. Während aber die in der Erde hergestellten Betonpfähle nur ausnahmsweise mit Eiseneinlagen versehen werden, wenn sie Biegungsbeanspruchungen aufzunehmen haben, müssen die Rammpfähle stets Eiseneinlagen erhalten, weil sie sonst den Rammschlägen nicht widerstehen könnten. Die Beton-Rammpfähle sind also durchweg Eisenbetonpfähle und werden sowohl als Rostpfähle wie als Spundbohlen hergestellt. Sie haben entweder dreieckigen oder rechteckigen oder polygonalen Querschnitt mit abgefaßten Ecken mit je einem Längseisen in den Ecken und Querverbindungen durch Bügel aus dünnen Rundeisen oder Drähten (Abb. 20c) oder mit Spiralarmierung (Abb. 20d). Am unteren Ende des Pfahles sind die Längseisen zu einer mit oder ohne Schuh versehenen Spitze oder Schneide zusammengeführt.

Entsprechend dem größeren Pfahlgewicht müssen zum Einrammen der Eisenbetonpfähle auch schwerere Rammen zur Verwendung kommen. Zum Schutz des Pfahlkopfes dient eine eiserne oder stählerne Schlaghaube, der Spielraum zwischen Pfahlkopf und Haube wird mit einem schlagverteilenden Mittel (Sand, Säge-

späne u. dergl.) ausgefüllt. Um die Vorteile des Eisenbetonpfahls, die Ersparnis der Hinabführung des Grundmauerkörpers bis zur Grundwassertiefe, auszunützen und doch an Kosten möglichst zu sparen, werden, wenn der tragfähige Baugrund sehr tief liegt, auch Holzeisenbetonpfähle verwandt, indem bis zur Fäulnisgrenze des Holzes, also etwa bis auf Höhe des mittleren Grundwassers ein Holzpfahl eingerammt und auf ihn ein Eisenbetonpfahl mittels eines besonderen Verbindungsstückes gesetzt wird. Fast alle Arten Betonpfähle mit ihren kleinen Verschiedenheiten sind durch Patente geschützt, so daß eine freie Anwendung nicht statthaft ist.

Für die Standfestigkeit der Pfahlroste ist nachzuweisen, daß

1. die zulässige Pfahlbelastung nicht überschritten wird,
2. die auftretenden wagerechten Kräfte aus Gewölbeschub oder Erddruck von dem Pfahlrost aufgenommen werden können.

Aus dem Spannungsdiagramm der Grundfuge des Fundamentes (vgl. Abb. 1) ist die senkrechte Druckbelastung der einzelnen Pfähle zu ermitteln, indem durch Halbierung der Abstände der Pfähle die für jeden Pfahl in Betracht kommende Grundfläche des Rostes ermittelt wird. Bei ungleicher Druckverteilung auf die Grundfuge wird der Abstand der Pfähle zweckmäßig so gewählt, daß alle Pfähle gleich belastet werden. Die Tragfähigkeit eines gerammten Pfahles ist bestimmt durch seinen Widerstand gegen Eindringen in den Boden, durch die zulässige Druckbeanspruchung des Pfahlbaustoffes und bei hohem Pfahlrost auch durch die Knicksicherheit. Die zulässige Druckbeanspruchung

wird selten erreicht, sie beträgt für Kiefernpfähle 60 kg/qm und hängt bei den Betonpfählen von der Herstellungsart ab. Für die Knicksicherheit kommt in der Regel, wenn die Spitzen der Pfähle in dem festen Untergrund stehen, die Euler-Formel  $J = \frac{Pl^2}{\pi^2 E}$  in Betracht,

worin  $J$  das erforderliche kleinste Trägheitsmoment in  $\text{cm}^4$ ,  $P$  die zulässige Belastung in kg,  $l$  die Pfahllänge in m und  $E$  das Elastizitätsmaß bezeichnet. Für Holzpfähle mit  $E = 120000$  kg/qcm und einer zehnfachen

Sicherheit gegen Knicken wird  $J = \frac{Pl^2}{12}$  oder wenn  $P_1$

die zulässige Belastung in  $t$ :  $J = 83,3 P_1 l^2$ . Stehen die Pfähle mit den Spitzen in festem Untergrund, so kann man sie so stark belasten, als die Knickfestigkeit des Pfahlbaustoffes es gestattet, nur müssen hohe Rostpfähle, die ihrer ganzen Länge nach in nachgiebigem Boden stehen, gegen einseitiges Ausweichen durch Schrägpfähle gesichert werden. Der hohe Pfahlrost kommt für Brückenpfeiler selten zur Anwendung, obgleich er den Vorteil bietet, daß sich der Fundamentkörper verringert und somit die vom Pfahlrost zu tragende Last kleiner wird, als es beim tiefliegenden Rost der Fall ist. Bei ihrer meist hoch über den festen Boden hinausragenden Stellung müssen aber die Pfähle außer gegen einseitiges Ausweichen auch noch gegen Biegung geschützt werden, zu welchem Zwecke eine Steinschüttung oder die Einbringung einer starken Betonschüttung zwischen den Pfählen erforderlich ist (Abb. 18).

Ungleich schwieriger ist die Tragfähigkeit von Pfählen zu bestimmen, die in nachgiebigem Boden

stehen. Zur Berechnung derselben sind auf theoretischem Wege Formeln entwickelt worden, bei denen die Tragfähigkeit zu dem Einsinken des Pfahles nach dem letzten Rammschlage in Beziehung gebracht ist. Da sich aber die Wirkungen der lebendigen Kraft des Rammschlages mit denen einer ruhenden Belastung nicht ohne weiteres vergleichen lassen und da man die Eigenschaften der verschiedenen Bodenarten höchstens durch Einführung von Koeffizienten berücksichtigen könnte, die noch fehlen, so darf man auf Zuverlässigkeit dieser Art von Formeln nicht rechnen. Die am meisten angewendete Formel ist die von Brix, welche bei annähernd unveränderten Bodenschichten oder bei Sandboden auch den besten Anhalt gibt, aber bei Lehm- und Tonboden mit Vorsicht aufzunehmen ist.

$$\text{Sie lautet: } P = \frac{h \cdot Q^2 q_2}{e(Q + q)}$$

Hierin bezeichnet  $P$  die Grenzbelastung, welche der Pfahl noch tragen kann, ohne tiefer einzusinken,  $h$  die Fallhöhe des Rammjärens in mm,  $Q$  das Bärgewicht und  $q$  das Gewicht des Pfahles, beides in kg, und  $e$  die beobachtete Eindringung des Pfahles beim letzten Schlag in mm. Als zulässige Belastung des Pfahles ist dann

$$p = \frac{1}{m} P \text{ einzuführen, worin } m \text{ je nach der Wich-}$$

tigkeit des Bauwerks = 8 bis 4 zu nehmen ist. Bei der Unsicherheit der Formel empfiehlt es sich, bei wichtigeren Bauwerken stets Probepfähle einzurammen und durch ihre Belastung sich von der Tragfähigkeit Überzeugung zu verschaffen. Besondere Berücksichtigung ist der Stellung der Pfähle zuzuwenden, wenn die Beanspruchung durch die Last nicht senkrecht erfolgt,

wie dies bei Widerlager von Bogenbrücken und Landpfeilern von Balkenbrücken der Fall ist. Pfahlrost in Boden, welcher nahe der Oberfläche wenig tragfähig ist, wie Schlamm-, Moor- und weicher Tonboden, wird bei solcher Beanspruchung stark auf Kippen oder Verschieben beansprucht und ist daher durch Schrägpfähle zu sichern, wenn nicht wie bei großem Schube die Pfähle überhaupt schräg und möglichst in die Richtung der Mittelkraft aus der senkrechten Belastung und dem Schube gestellt werden. Zahl und Neigung der Schrägpfähle muß also so gewählt werden, wie der errechnete wagerechte Schub es erfordert, und ferner möglichst so, daß die Mittelkraft in die Pfahlrichtung fällt. Daneben sind aber auch senkrechte Pfähle erforderlich, von denen zweckmäßig einige mit Schrägpfählen zugfest verbunden werden, damit sie auch in der Lage sind, etwaige Zugspannungen aufzunehmen. Den Widerstand gegen Ausziehen kann man zu  $\frac{5}{8}-\frac{3}{4}$  der Tragfähigkeit der Pfähle annehmen.

Die Länge der Rostpfähle ergibt sich bei vorhandenem festen Untergrunde, auf welche die Pfeilerlast übertragen werden soll, aus dessen Tiefenlage unter der Rostoberfläche, und wenn kein fester Baugrund mit den Pfählen zu erreichen ist, aus dem Bodenwiderstand beim Einrammen, der am besten durch Probepfähle zu ermitteln ist. Nach einer ganz guten Faustregel sitzt unter gewöhnlichen Verhältnissen ein Pfahl genügend fest, wenn er bei einem Rammschlag mit einem 1 t schweren Bären bei 1 m Fallhöhe nicht mehr wie 1 cm eindringt. Bei hohen Rostpfählen ist noch zu berücksichtigen, daß sie mindestens so tief eingerammt werden müssen, als sie über den Boden hinausragen. Die mittlere Stärke der hölzernen Rammpfähle kann man hinsichtlich der



Beanspruchung beim Einrammen zu 25 cm bis 4 m Länge, zu 30 cm bis 6 m Länge nehmen, bei größeren Längen bis 12 m gibt man für jeden m größere Länge 1,5 cm und von 12 m aufwärts für jeden m 1 cm zu. Die zulässige Tragfähigkeit dieser und nach der obigen Faustregel eingerammten Holzpfähle kann zu 15 bis 20 t angenommen werden, während sie für Beton-Stampfpfähle zu 20 bis 25 t und für Beton-Ramm-pfähle zu 40 bis 60 t je nach Querschnitt angenommen werden kann.

Infolge der größeren Beständigkeit gegenüber äußeren Angriffen kommen auch eiserne Pfähle als dauerhafterer Ersatz für hölzerne in Anwendung, namentlich für Gerüste und Landungsbrücken, aber auch für Brückenpfeiler. Es sind dies in der Regel Schraub-pfähle, seltener Scheiben- oder Spitzenpfähle.

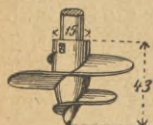


Abb. 21.

Die Schraubenschaft bestehen aus der gußeisernen oder gußstählernen Schraube, Abb. 21, die als besonderes Stück angefertigt und meist mit einem kleinen Vorschneider versehen ist, und dem Pfahl aus Holz oder aus eiser- nen Muffenröhren mit verschraubten

Stößen. Zu Brückenpfeilern verwendet man zweckmäßig nur schmiedeeiserne Pfähle, wenigstens für den aus dem Boden hervorragenden Teil, da solche Pfeiler bei Längenänderungen der Brücke durch Wärmeschwan- kungen oder durch Winddruck auf Biegung beansprucht werden. Das Einschrauben der Pfähle findet unter gleich- zeitiger Belastung von festen oder schwimmenden Ge- rüsten aus statt.

Die Schraube erhält bis 2,0 m Durchmesser, ihre Form, Steigung und Gangzahl richtet sich nach den

Bodenarten: für feste, steinige Bodenarten wählt man mehrere Umgänge, für weiche dagegen meist nur einen Gang mit großem Gewindedurchmesser.

Die Vorzüge der Schraubenpfähle gegenüber massiven Fundamenten bestehen in den sehr viel geringeren Kosten, der schnellen und leichten Herstellung und Wiederbeseitigung, während allerdings ihre Dauer eine begrenzte ist. Ganz besonders empfehlen sich Schraubenpfähle für Verlängerung von Brückenpfeilern, da das Einbringen ohne Erschütterungen des Brückenbauwerks und ohne Auflockerung des Baugrundes erfolgen kann. Holzpfähle mit Schraubenschuhen werden daher auch als Rostpfähle verwandt, wenn ein Einrammen oder Einspülen unstatthaft ist.

Bei der Tragfähigkeit der Schraubenpfähle kommt es weniger auf die Tiefe, als hauptsächlich auf die Tragfähigkeit der Bodenschicht, in welcher die Schraube steckt, und auf die Stärke der Schraubenflanschen an. Ist die Grundfläche der Schraube =  $F$  in qcm und die zulässige Belastung der betreffenden Bodenart =  $\sigma$  kg/qcm, so kann die zulässige Belastung zu  $F \cdot \sigma$  in kg angenommen werden.

Scheibenpfähle sind gußeiserne Röhren mit einer unten angegossenen oder angeschraubten Scheibe mit einem Loch in der Mitte, sie werden durch Druckwasser eingespült. Spitzpfähle sind gußeiserne oder schmiedeeiserne Rohre mit einer Stahlspitze, die durch Rammen oder Wasserspülung eingetrieben werden. Da die Last durch die Spitze übertragen werden soll, so sind sie nur anwendbar, wenn sie bis auf festen Fels hinabgetrieben werden.

#### 4. Senkkasten mit unterem Boden und Schwimmpfeiler.

Diese Gründungsart besteht darin, daß oben offene wasserdichte Kasten aus Holz, Eisen, Eisenbeton oder Mauerwerk bzw. aus Verbindungen dieser Baustoffe schwimmend an die Baustelle gebracht und auf den natürlichen oder künstlich befestigten Baugrund, auch auf vorher eingerammte Pfähle versenkt werden und in ihrem Schutze das Fundament bis über Wasser aufgemauert wird. Der Boden dient dem Fundament als liegender Rost, die Seitenwände werden, wenn sie aus Holz oder Eisen bestehen, in der Regel wieder entfernt; sie bilden dagegen, wenn sie aus Mauerwerk oder Eisen-

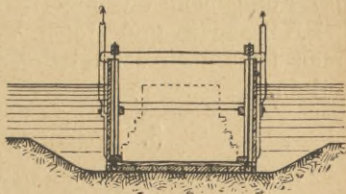


Abb. 22.

beton bestehen, gleich einen Teil des Fundamentes. In ersterem Falle nennt man die Kasten Senkkasten, in letzterem Falle Schwimmpfeiler. Abb. 22 stellt einen hölzernen Senkkasten dar, bei welchem die Wände durch Anker, deren Muttern von unten in den aus 2 Lagen Bohlen bestehenden Boden eingelassen sind, gegen den letzteren gepreßt werden. Löst man nach beendeter Gründung die Schrauben durch Drehen der Anker, so schwimmen die Wände hoch. Früher wurde diese Gründungsart für Brückenpfeiler häufig zur Herstellung von Fundamenten unter Wasser angewendet, wenn das Abdämmen schwierig oder zu kostspielig war. Sie hat aber den Nachteil, daß ein starkes und ungleichmäßiges Setzen nicht zu vermeiden ist, weil das Einebnen des Bau-

grundes oder das Abschneiden der Rostpfähle in genau gleicher Höhe unter Wasser Schwierigkeiten macht und daher eine gleichmäßige Unterstützung des Kastens nicht wohl geschaffen werden kann. In neuerer Zeit hat man daher diese Gründungsart für Brückenpfeiler verlassen und wendet in gleichem Falle meist andere Verfahren an, wie Betongründung ohne oder mit Grundpfählen, Brunnen- oder Luftdruckgründung, welche insofern besser sind, als bei ihnen ein weniger starkes Setzen des Fundamentes vorkommt. Nur wo ein Setzen des Fundamentes von geringem Belang ist, wie z. B. bei Kaimauern und Molen, wendet man das Verfahren auch jetzt noch bei mittleren Wassertiefen mit Vorteil an.

### 5. Brunnengründung.

Unter Brunnengründung versteht man ganz allgemein das Verfahren, einen hohlen, oben und unten offenen Körper beliebiger Grundrißform durch Schichten von ungenügender Tragfähigkeit bis auf den tragfähigen Baugrund zu versenken, und zwar durch Entfernen des Bodens im Inneren. Sie unterscheidet sich also von der Senkkasten- oder Schwimmpfeilergründung dadurch, daß der hohle Körper in den Boden versenkt wird. Die Entfernung des Bodens geschieht entweder durch unmittelbares Graben im Inneren oder, falls das Wasser im Brunnen nicht ausgepumpt werden kann oder darf, durch Baggern. Der Innenraum der abgesenkten Brunnen wird nachher mit Beton, Mauerwerk, trockenen Steinen oder Schotter ausgefüllt. Wo die Beseitigung des Wassers im Innern der Brunnen möglich und der Umgebung wegen statthaft ist, so daß das Ausgraben im Trockenen erfolgen kann, lassen sich die

Brunnen bis zu den größten Tiefen absenken, wie gemauerte Brunnen und Schächte im Bergbau erweisen. Wo aber die Wasserbeseitigung nicht ausführbar ist, empfiehlt sich die Brunnengründung nur, wenn keine Hindernisse im Boden, wie große Steine, Felsspitzen, Baumstämme, Baureste usw. zu erwarten sind, also nur in Moor-, Schlamm- und gleichmäßigem Sandboden. Denn die Beseitigung solcher Hindernisse unter Wasser verursacht nicht nur unverhältnismäßige Kosten, sondern auch bedeutenden Zeitverlust, und es empfiehlt sich daher, bei allen größeren Brunnengründungen einen Taucherapparat und andere Geräte vorrätig zu halten, um Hindernisse rasch beseitigen zu können.

Nach den Baustoffen, aus welchen die Brunnen bestehen, unterscheidet man 3 Arten: gemauerte, eiserne und hölzerne Brunnen.

Die gemauerten Brunnen erhalten als Unterlage Brunnenkränze oder Brunnenschlinge aus Holz oder Eisen, die man auf die eingeebnete und in der Regel bis zum Grundwasserspiegel ausgehobene Sohle der Baugrube verlegt. Die zweckmäßigste Querschnittsform für die Brunnenkränze ist die dreieckige, da die Senkung eines Brunnens um so besser vonstatten geht, je weniger Widerstand er im Boden findet. Hölzerne Brunnenkränze werden aus einzelnen Bohlenlagen hergestellt, die gehörig überblattet und miteinander vernagelt und verbolzt sind, und erhalten in der Regel noch eine besondere Schneide aus Eisen, welche aus einem T- oder spitzwinkligen L-Eisen besteht und zu einem geschlossenen Ring zusammengeschweißt oder vernietet wird, Abb. 23a. Als Holz eignet sich am besten Eichen- oder Buchenholz, aus Billigkeitsgründen wird aber auch Kiefernholz genommen. Eiserne Brunnen-

kränze werden aus Winkeleisen und Blech konsolartig zusammengenietet, Abb. 23b. Die Schneide verstärkt man durch ein außen angenietetes Flacheisen. Zweckmäßiger ist aber ein vollständig keilförmiger Querschnitt, indem man auch nach dem Innern des Brunnens zu eine schräge Blechwand anbringt, die obere wagerechte Platte der Konsole offen läßt und dann den Hohlraum der Schneide ausbetoniert, Abb. 23c.

Die geeignetste Form für die Brunnen ist der Kreis,

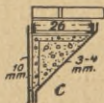
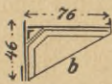
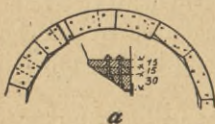


Abb. 23.

da solche Brunnen die geringste Umfangsfläche im Verhältnis zur Grundfläche haben, also den geringsten Reibungswiderstand im Boden beim Absenken erleiden. Auch

sind alle Punkte des Brunnenkranzes von dem in der Mitte arbeitenden Baggerapparat gleich weit entfernt, so daß eine gleichmäßige Senkung leicht erreicht wird. Häufig macht aber die Gestalt des Brückenpfeilers es wünschenswert, von der Kreisfläche abzuweichen, und man findet daher auch alle möglichen Grundrißformen, halbrunde, vier- und mehreckige, angewendet. Aber man muß es vermeiden, den Brunnen recht- oder spitzwinklige Ecken zu geben, weil die Ecken leicht hängen bleiben und dann viel Boden unter den Wänden von außen eindringt. Auch wendet man für Brückenpfeiler entweder einen einzigen großen Brunnen mit oder ohne Scheidewände an oder bildet das Fundament aus mehreren kleinen Brunnen, die einander nicht zu nahe gestellt werden dürfen und die oben durch Überkragen oder durch zwischengeschlagene Bögen oder Platten

zu einem gemeinsamen Fundament vereinigt werden (Abb. 24). Die Entscheidung, ob man einen einzigen Brunnen oder mehrere kleinere Brunnen für ein Fundament wählt, richtet sich in erster Linie nach dem Baugrund und den zulässigen Bodenpressungen. Ein einheitlicher Brunnen bietet den Vorteil, daß der Brunnen infolge seines größeren Gewichtes und kleineren Verhältnisses zwischen Umfang und Grundfläche sich besser senkt als mehrere kleinere Brunnen und daß der fertige Pfeiler sich gleichmäßiger setzt. Doch ist das Versenken bei großen Wassertiefen schwieriger, erfordert stärkere Gerüste und muß vorsichtiger ausgeführt werden als bei mehreren kleineren Brunnen, damit infolge ungleichmäßigen Ausgrabens oder Baggerns keine Risse im Brunnen entstehen. Auch ist ein einheitliches Fundament meist teurer, weil es eine größere Masse Mauerwerk enthält. Bei mehreren kleineren Brunnen kann man die Größe genau entsprechend den zulässigen Beanspruchungen des Baugrundes und des Baustoffes für die Brunnen einrichten, nur die Verbindung der einzelnen Brunnen ist, wenn sie unter Wasser erfolgen soll, kostspielig und zeitraubend. Man wählt also einen großen einheitlichen Brunnen in weicheren, namentlich ungleichmäßig festen Erdarten und wenn der Körper des aufgehenden Pfeilers aus irgendwelchen Gründen bereits unter dem niedrigsten Wasserstande zu einem Ganzen vereinigt werden soll; dagegen empfehlen sich mehrere kleinere, namentlich runde Brunnen da, wo ein

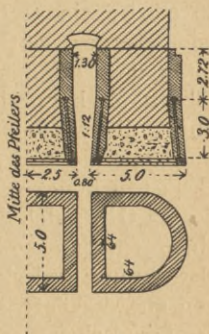


Abb. 24.

fester Baugrund unter weichen Erdarten liegt, bei großen Wassertiefen, wenn von einem Gerüst aus gesenkt werden muß, und bei Pfeilern, welche auf das Fundament einen schrägen Druck ausüben, denen man eine größere Standsicherheit geben kann, wenn man die einzelnen Brunnen weit auseinanderrückt.

Da die Brunnen sich um so besser senken lassen, je schwerer sie sind, so macht man die Brunnenwände so stark, wie es die bequeme Ausführung der Grab- oder Baggerarbeiten gestattet. Eine statische Berechnung der Brunnenwände ist daher in der Regel überflüssig, sie kann sich auch nur auf die Beanspruchung durch die regelmäßig auftretenden Kräfte, den Erd- und Wasserdruck erstrecken, während die zufälligen Beanspruchungen, wenn z. B. ein Brunnen auf ein Hindernis trifft, sich der Betrachtung entziehen und durch einen entsprechenden Sicherheitskoeffizienten bei der Berechnung gedeckt werden müssen. Werden die Brunnen ausgeschöpft, so kann man ihre Wandstärke nach der Laméschen Formel für Röhren mit äußerem Druck

berechnen:  $\delta = r \left[ -1 + \sqrt{\frac{k}{k - 2p}} \right]$  worin  $\delta$  die Wand-

stärke,  $r$  der innere Halbmesser in cm,  $k$  die zulässige Beanspruchung der Brunnenwand auf rückwirkende Festigkeit und  $p$  der äußere Druck in kg/qcm Wandfläche bedeutet. Für  $p$  muß mindestens der äußere Wasserdruck auf die Brunnentiefe  $t$ , also  $p \geq t\gamma$  angenommen werden, wenn  $\gamma$  das Gewicht von 1 cbm Wasser,

also  $p = \frac{1000 t}{10000} = 0,1 t$  kg/qcm. Durch Überkragung

nach innen kann man den Brunnenwänden eine größere Stärke wie die Breite des Brunnenkranzes geben. Um



das Senken zu erleichtern, werden die Wände entweder im unteren Teile oder besser gleichmäßig, soweit sie in den Grund versenkt werden, eingezogen und die Außenflächen möglichst glatt gemacht, am besten durch geglätteten Zementputz. Auch ist eine Verankerung des Mauerwerks mit dem Brunnenkranze durch eiserne Anker anzuraten, wenn der Brunnen durch wechselnde Schichten von Sand und Ton oder Lehm, also durch Schichten mit ungleichmäßigen Reibungswiderständen gesenkt werden muß.

Die Brunnenwände werden entweder aus Ziegeln mit Zementmörtel aufgemauert oder in Stampfbeton hergestellt, und zwar zweckmäßig entweder gleich in voller Höhe oder in mehreren Absätzen. Die erstere Ausführung hat den Vorteil, daß das Gewicht des Brunnens ein größeres und daher weniger Belastung erforderlich, auch nur einmal aufzubringen ist, und daß die Außenflächen regelmäßig gestaltet werden können; sie hat dagegen den Nachteil, daß bei den hoch über Wasser geführten Brunnenwänden der auszugrabende Boden höher zu heben ist, als es des Wasserstandes wegen nötig wäre. Beim Herstellen der Brunnenwände in mehreren Absätzen muß die Belastung jedesmal abgenommen und wieder aufgebracht werden, womit auch eine Unterbrechung der Bagger- und der Versenkungsarbeiten verbunden ist, und die regelmäßige Aufmauerung ist schwierig, weil bei Beginn einer neuen Aufmauerung der Brunnen oben nicht immer wagerecht steht und von dem versenkten Teile nur der obere Rand sichtbar ist. An Stelle des Stampfbetons kann auch der Eisenbeton für die Brunnenwände in Anwendung kommen, doch sind im allgemeinen dünnwandige Fundamentbrunnen, die später doch mit Beton gefüllt wer-

den sollen, unzweckmäßig, weil sie stark belastet werden müssen, um sie zu senken. Namentlich sind bei runden Brunnen die wagerechten oder spiralförmigen Eiseneinlagen entbehrlich, weil man die Wände wegen des zum Senken erforderlichen Gewichtes zweckmäßiger so stark macht, daß Eiseneinlagen zur Erzielung größerer Festigkeit nicht mehr erforderlich sind. Dagegen sind für gerade Wände die wagerechten Eiseneinlagen sehr nützlich, man wird sogar mit ihrer Hilfe jeder beliebigen Form von Brunnen genügende Festigkeit geben können, so daß man die Brunnen ganz der Form des darauf zu erbauenden Pfeilers anpassen kann, was unter Umständen von großem Nutzen sein wird. Aber man soll auch hier möglichst starke Wände anwenden, um das Absenken zu erleichtern.

Während die gemauerten und betonierten Brunnen einen wirklich mittragenden Teil des Fundamentkörpers bilden, ist dies bei den eisernen und hölzernen Senkbrunnen nicht der Fall, diese dienen vielmehr nur als Hülle für den Fundamentkörper.

Für die eisernen Senkbrunnen wird sowohl Gußeisen als auch Walzeisen verwandt. Die gußeisernen Brunnen werden bei geringem Durchmesser aus einzelnen Ringen hergestellt, die in den zusammengesraubten Stößen durch Einlagen von Gummi, geteertem Hanf oder Filz gedichtet werden, bei größerem Durchmesser setzt man auch die einzelnen Ringe noch in ähnlicher Weise aus Segmenten zusammen. Gußeiserne Brunnen bekommen aber leicht Risse, wenn sie bedeutendem Temperaturwechsel ausgesetzt sind, denn das spröde Gußeisen wird bei großer Kälte durch die Betonfüllung gehindert sich zusammenzuziehen, und bei großer Hitze werden die Ringe von den durch den

Beton festgehaltenen und abgekühlten Flanschen abgerissen. Man vermeidet diesen Übelstand am besten dadurch, daß man für die einzelnen Ringe und Ringsegmente die Flanschenverbindung ersetzt durch eine Überlappung mit länglichen Löchern für die Schraubenverbindung, Dichtung mit Bleiplatten, Abb. 25.



Abb. 25.

Die Brunnen aus Walzeisen werden aus Blechen hergestellt, welche innen durch Walzprofile, L-, I- oder C-Eisen, ausgesteift sind, und man stellt entweder einzelne Ringe her mit Flanschen aus angenieteten L-Eisen, die man wie die gußeisernen miteinander verschraubt, oder man nietet die Wände entsprechend dem Fortschreiten der Versenkung an Ort und Stelle zusammen. Wegen der größeren Elastizität des Walzeisens haben sich nachteilige Folgen der Verbindung nicht gezeigt. Die Seitenwände werden entweder senkrecht gemacht oder auch nach oben eingezogen, und zwar genügt es, bei Tonboden die Erweiterung auf den unteren Teil zu beschränken, dagegen ist bei Sandboden eine auf die ganze zu versenkende Höhe gleichmäßig verteilte Verjüngung vorzuziehen. Die Verjüngung erleichtert das Senken bedeutend, vermindert aber die Tragfähigkeit des Brunnens, indem sie die Reibung bzw. Adhäsion des umgebenden Bodens teilweise aufhebt.

Die Berechnung der Wandstärke eiserner Senkbrunnen erfolgt aus der Größe des Erd- und Wasserdruckes in den verschiedenen Tiefen, und die Aussteifungen sind so zu berechnen, daß sie die Wände gegen Eindrücken sichern, also die Belastung der Wandflächen aufnehmen. Eiserne Senkbrunnen sind bereits bis zu großen Tiefen ausgeführt worden, so bei einer Brücke über den Sutley in Indien bis 33 m unter Wasser und

bei einer Brücke über den Hawkesburyfluß in Australien, wo schmiedeeiserne Brunnen von 14,63 m Länge und 6,1 m Breite bis 56,4 m unter Hochwasser versenkt wurden. Eiserner Senkbrunnen haben gegenüber gemauerten Brunnen den Vorzug geringeren Gewichtes, sie lassen sich bequem fortschaffen und schnell zusammensetzen, sie haben ferner eine größere Widerstandsfähigkeit gegen Wellenschlag und Strömungen; dagegen sind ihre Nachteile der hohe Preis des Eisens, die Notwendigkeit einer großen Belastung für die Versenkung und die Zerstörbarkeit durch Rost, bei gußeisernen auch durch Temperaturwechsel. Die Anwendung eiserner Brunnen empfiehlt sich daher hauptsächlich bei Seebauten, sowie überall, wo der hohe Preis durch den Vorteil, welchen die Möglichkeit schnellster Ausführung bietet, überwogen wird und wo es an geeigneten Arbeitskräften oder an Ziegelsteinen zum Mauern fehlt. Aus diesen Gründen sind sie besonders bei überseeischen, kolonialen Brückenbauten angewendet worden, während man in Deutschland mit Recht wenig Gebrauch von ihnen gemacht hat.

Hölzerne Senkbrunnen, gewöhnlich Senkkasten genannt, wurden früher bei Hochbauten, seltener bei Brückenbauten angewandt; jetzt werden an ihrer Stelle in der Regel Betonpfähle hergestellt. Wegen des geringen Gewichtes der hölzernen Senkkasten ist eine starke Belastung beim Absenken erforderlich und daher ihre Verwendung sowohl hinsichtlich der Größe wie der Tiefe nach eine beschränkte. Bei geringen Tiefen bestehen die Wände einfach aus senkrecht gestellten, 4 bis 5 cm starken Brettern, die im Inneren durch wagerechte Rahmen miteinander verbunden sind, Abb. 26a. Für größere Tiefen stellt man die Wände

aus wagerechten Bohlen her, deren Stärke entsprechend dem Erd- und Wasserdruck mit der Tiefe zunimmt und die in den Ecken durch Pfosten und bei größeren Weiten auch noch in der Mitte einmal oder mehrere Male durch senkrechte gegeneinander verspreizte Hölzer abgesteift werden, Abb. 26b. Sollen die Brunnen nachher ausgepumpt werden, so müssen die Fugen gedichtet werden.

Das Senken der Brunnen geschieht bei Gründungen auf dem Lande in der Weise, daß man zunächst eine Baugrube bis zum Grundwasserspiegel herstellt, dann den Brunnenkranz verlegt und mit der Aufmauerung und demnächst mit der Ausgrabung oder Ausbaggerung beginnt. Die Ausgrabung kann auch bei geringem Wasserandrang unter Wasserhaltung erfolgen, aber der Übergang zum Baggern wird notwendig, sobald der Wasserandrang stärker wird, und bei reinem Sandboden, der durch das Abpumpen des Wassers zum Treiben kommt. Bei Gründungen im Wasser muß man zunächst Vorkehrungen treffen, um den Grund zu erreichen. Zu dem

Zwecke schüttet man in stehendem oder langsam fließendem Wasser von mäßiger Tiefe am einfachsten eine kleine Insel aus Sand ohne oder innerhalb einer Pfahlwand, auf welcher der Brunnenkranz verlegt und der Brunnen aufgemauert wird. Durch die künstliche Aufschüttung hindurch wird dann der Brunnen in den gewachsenen Boden gesenkt. Bei größeren Wassertiefen und starker Strömung, oder wenn die Aufschüttung zu teuer werden würde, erfolgt die Versenkung auf die

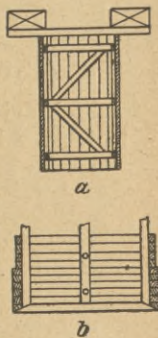


Abb. 26.

Sohle meistens billiger von Gerüsten aus, die entweder feste, auf eingerammten Pfählen, Abb. 27, oder schwimmende, auf zwei zusammengestellten Fahrzeugen, Abb. 28, sein können. Letztere sind in der Regel vorzuziehen, besonders bei sehr großen Wassertiefen, oder wenn viele Brunnen zu senken sind, da man dann für alle dasselbe Gerüst benutzen kann. Der Brunnen wird am Kranze aufgehängt und mittels Flaschenzügen oder

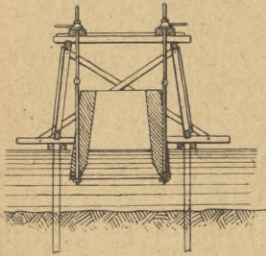


Abb. 27.

besser Schraubenspindeln, welche das Anhalten der Last in beliebiger Stellung sicherer ermöglichen, nach er-

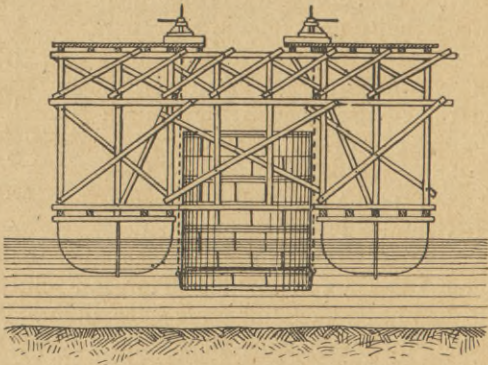


Abb. 28.

folgter Aufmauerung bis zur Sohle gesenkt. Alsdann beginnt das Ausbaggern und allmähliche Weiterversenken. Als Bagger kommen für Brunnen Gründungen

hauptsächlich diejenigen in Betracht, welche wenig Raum einnehmen, schnell aufzustellen und wieder zu entfernen sind, wie die Eimerbagger mit senkrechter Eimerleiter und die Greifbagger.

Je schwerer der Brunnen, desto leichter geht die Senkung vonstatten, das Gewicht muß mindestens so groß sein, daß die an den Seitenwänden stattfindende Reibung überwunden wird. Hiernach ist bei eisernen oder hölzernen Brunnen die erforderliche Belastung zu ermitteln, wozu sich am besten Eisenbahnschienen wegen ihres großen Gewichtes und ihrer bequemen Handhabung eignen. Die Belastung hat namentlich bei Sandboden einen großen Einfluß auf die Menge des zu baggernden Bodens, da dieser leicht unter dem Brunnenkranze nachsinkt, so daß bei ungenügender Belastung die geförderte Bodenmenge bis auf das Zwei- und Dreifache des durch den Brunnen verdrängten Bodens steigen kann, wodurch dann auch noch in der Nähe befindliche weniger tief gegründete Bauwerke gefährdet werden können. Man kann daher die Belastung nicht leicht zu groß machen.

Werden für ein Fundament mehrere Brunnen sehr nahe beieinander versenkt, so muß man sie bei Sandboden möglichst gleichzeitig und gleichmäßig absenken. Zwei nebeneinander versenkte Brunnen nähern sich während der Versenkung gegenseitig, es haben sich beispielsweise beim Bau der Elbbrücke bei Barby die 8,7 m tiefen Brunnen von 0,8 m ursprünglichem Abstand auf 0,4 m genähert. Die Annäherung wird um so größer, je geringer der Abstand der Brunnen voneinander und je größer die unter dem Brunnenkranze von außen eindringende Bodenmenge ist. Durch starke und einseitige Belastung kann die Annäherung verringert werden, wenn sie nicht zulässig erscheint.

Nach beendeter Senkung muß der hohle Innenraum der Brunnen ausgefüllt werden. Fand die Senkung durch Ausgraben statt, so kann auch von der Sohle aus gemauert oder betoniert werden. Das etwa durch die Sohle zufließende Wasser muß dabei wieder wie bei offenen Baugruben durch Sickerkanäle zum Pumpensumpf geleitet werden, das Pumpen beeinträchtigt aber in engen Brunnen die Ausfüllung, so daß es sich meistens empfiehlt, die Brunnen voll Wasser laufen zu lassen und dann wie bei den ausgebaggerten Brunnen durch eine Betonschüttung unter Wasser einen dichten Sohlenabschluß herzustellen.

Die Betonsohle macht man hierbei mindestens so stark, daß sie allein durch ihr Gewicht dem Auftrieb das Gleichgewicht hält, bei Steinschlagbeton also  $\geq 0,5$  und bei Ziegelschotterbeton  $\geq 0,63$  der Wassertiefe bis Brunnensohle. Bei Zementmörtel können dann die Brunnen bereits nach vier bis fünf Tagen, bei Traßmörtel nach zwei Wochen leer gepumpt werden. Auf diese Betonsohle kann bis zum niedrigsten Wasserstande eine Sandschüttung folgen, doch vermeidet man bei Brückenpfeilern besser verschiedene Füllstoffe mit ungleichen Festigkeiten und mauert oder betoniert den ganzen Brunnen aus.

Die Kosten der Brunnensenkung wachsen erheblich mit der Tiefe, weil mit wachsender Reibung die Belastung gesteigert werden muß und infolge des größeren Erddrucks mehr Boden unter dem Brunnenkranz in den Brunnen dringt und dieser außerdem höher gehoben werden muß.

## 6. Luftdruckgründung.

Der charakteristische Unterschied zwischen den bisherigen Gründungsarten und der Luftdruckgründung besteht darin, daß bei den ersteren die Ausschachtungs-



arbeiten in freier Luft entweder im Trockenen oder unter Wasser vorgenommen werden und das Wasser aus der Baugrube durch Pumpen beseitigt wird, daß dagegen bei der letzteren das Wasser durch Luftdruck verdrängt und die Ausschachtungsarbeiten in einer mit Druckluft angefüllten Arbeitskammer ausgeführt werden. Die Größe des in der Arbeitskammer herrschenden Überdruckes hängt von der Tiefenlage ihrer Unterkante unter dem Wasserspiegel ab, eine Wassersäule von 10 m entspricht einer Atmosphäre, und ein Überdruck von 1,2—1,5 Atmosphären, das ist also eine Tiefe von 12—15 m unter dem Wasserspiegel, ist für gesunde Leute weder gefährlich noch unbehaglich, nur muß das Ein- und Ausschleusen möglichst langsam und vorsichtig erfolgen, da eine zu plötzliche Ausgleichung des Luftdruckes im menschlichen Körper ein Zerreißen der Wandungen zarterer Blutgefäße zur Folge haben kann, wodurch Nasen-, Ohren- und Lungenblutungen entstehen können. Bei einem Überdruck von mehr als zwei Atmosphären, das ist 20 m unter dem Wasserspiegel, müssen aber die Arbeitszeiten verkürzt und sonstige Vorsichtsmaßregeln getroffen werden, und als größte mit der Luftdruckgründung zu erreichende Tiefe kann 35 m unter dem Wasserspiegel angesehen werden.

Man unterscheidet zwei Arten der Gründung:

1. Gründung mit Senkkasten (Caissons),
2. Taucherglockengründung.

Bei der Senkkastengründung bildet der versenkte Hohlkörper selbst einen Teil des Fundamentes, während die Taucherglocke nur dazu dient, um in ihrem Schutze das Fundament herzustellen.

a) Die Senkkastengründung. Der Senkkasten ist ein unten offener, an den Seiten und oben geschlos-

sener hohler Körper, der durch die eingeführte verdichtete Luft wasserfrei gehalten und durch unmittelbares Ausgraben des Bodens in den Grund versenkt wird. Er wird aus Eisen, Mauerwerk, Beton, Eisenbeton oder Holz hergestellt. Besteht er aus Eisen, so trägt er entweder über seiner Decke das gemauerte oder betonierte Fundament, welches mit der fortschreitenden Senkung aufgemauert wird, oder er bildet auch nur, ähnlich den eisernen Brunnen, eine bis über Wasser reichende Hülle, in deren Schutz nach beendeter Versenkung der eigentliche Fundamentkörper ausgeführt wird. Diese letztere Anordnung war in früherer Zeit gebräuchlicher, wird aber neuerdings nicht mehr häufig angewendet, weil sie besonders wegen der erforderlichen großen Belastungen unbequem ist. Wird der Senkkasten aus Mauerwerk, Beton oder Holz hergestellt, so ist er stets ein wirklicher Teil des Fundamentes, welches auf seiner Decke während der Senkung aufgeführt wird.

Die eisernen Senkkasten sind zuerst angewendet worden und haben sich aus den gewöhnlichen in freier Luft abzusenkenden Senkröhren oder Röhrenpfeilern entwickelt, indem oben auf dem Rohre eine wagerechte Decke mit Luftschleuse befestigt wurde. Die Senkröhren bestehen aus einzelnen Ringen, die mit dem Fortgang der Arbeit aufgeschraubt werden, es muß also hierbei jedesmal die obere wagerechte Decke mit der Luftschleuse abgenommen werden. Die Röhren wurden nach beendeter Senkung mit Beton ausgefüllt. Bei diesen Röhrenpfeilern wurde also der ganze innere Zylinder mit Preßluft gefüllt, die Wandungen mußten luftdicht sein und wurden sehr teuer. Daher hat man später einen luftdichten Boden eingebaut und so eine besondere Arbeitskammer geschaffen, welche durch

Schachtrohre mit den Luftschleusen in Verbindung stand. Auch wurde dann diese Decke über der Arbeitskammer nicht mehr abnehmbar gemacht; sondern man führte auf derselben gleich den Pfeilerkörper auf. Den eisernen Röhrenmantel behielt man aber noch bei und verlängerte ihn stets bis über Wasser, um im Schutze desselben den Pfeilerkörper herzustellen. In Deutschland hat man dann auch den eisernen Mantel fortgelassen, um die Kosten zu sparen, und führt den Pfeilerkörper selbst den Fortschritten der Senkung entsprechend stets so hoch, daß er den Wasserspiegel überragt. Es zeigen also jetzt alle Gründungen mit eisernen Senkkasten die drei gesonderten Konstruktionsteile: den eigentlichen Senkkasten, die Schachtrohre und die Luftschleusen.

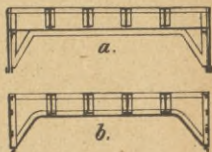


Abb. 29.

Die Senkkasten bilden die 1,80 bis 2,0 m hohe Arbeitskammer und bestehen gewöhnlich aus senkrechten Seitenwänden aus Blech, welche durch Konsolen aus Walzeisenprofilen im Innern versteift sind und eine wagerechte Blechdecke tragen, die ihrerseits durch Längs- und Querträger ausgesteift wird, oder man bildet die Konsolen mit den Querträgern zusammen als einen Träger aus und nietet die Deckenbleche dazwischen (Abb. 29 a). Anstatt die Decke wagerecht einzunieten, kann man derselben auch die Form der unteren Gurtung der Querträger geben, so daß die Decke allein den Arbeitsraum luftdicht umgibt (Abb. 29 b). Die äußeren senkrechten Wände dienen dann nur noch als Längsverband zwischen den Querträgern. Der Kranz wird durch die dreieckigen Konsolen gebildet, und die Schneide wird in der Regel auch aus Eisen hergestellt, nur bei schlamm-

migem Boden empfiehlt sich eine stumpfe Schneide aus Mauerwerk oder Beton, um plötzliches Einsinken und Gefährden der Arbeiter zu vermeiden. Große Senkkasten werden durch Zwischenwände, die bis auf die Sohle reichen und der Decke eine feste Unterstützung gewähren, zweckmäßig in einzelne Abteilungen zerlegt.

Eiserne Senkbrunnen sind zu empfehlen, wenn im Baugrund viele Hindernisse, wie Felsen, Baumstämme, Baureste, zu erwarten sind und wenn bei großen Fun-

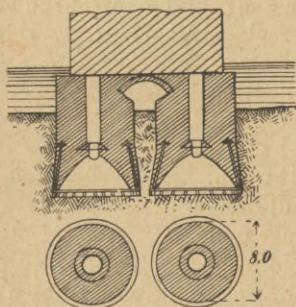


Abb. 30.

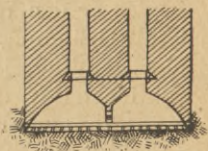


Abb. 31.

damenten ein einheitlicher Senkkasten bevorzugt wird. Um die Kosten der Senkkasten zu vermindern, ist bei neueren Konstruktionen der Eisenverbrauch dadurch wesentlich eingeschränkt worden, daß man den Arbeitsraum überwölbt und das Mantelblech fortläßt. Diese gemauerten Senkkasten mit eisernem Gerippe sind die Vorläufer der Senkkasten aus Mauerwerk und Beton ohne und mit Eiseneinlagen.

Die ersten gemauerten Senkkasten wurden bei der Lauenburger Elbbrücke angewandt, und zwar wurden für die ersten Pfeiler einzelne kleine Senkkasten von kreisförmigem Grundriß (Abb. 30), bei den letzten beiden

Strompfeilern einheitliche Senkkasten mit einem Grundriß von zwei sich schneidenden Ellipsen von rund 7 m Breite und 16 m Länge verwandt (Abb. 31). Die untere Arbeitskammer wurde aus überkragtem Ziegelmauerwerk gebildet, welches unten auf einem eisernen Kranz von 40 cm Höhe ruhte, der aus wagerechten und senkrechten Blechen, L-Eisen und kleinen Konsolen gebildet wurde. Über dem eisernen Kranz liegen noch drei Bohlenlagen aus Rotbuchenholz von je 8 cm Stärke, die um ebensoviel nach innen überkragen, und auf die obere Bohlenlage wurde das Mauerwerk gesetzt, das mit dem eisernen Kranze durch 3 m lange Rundeisenanker verbunden war (Abb. 32). Oben am Schlusse der Auskragung wurde ein Schachtrohrstutzen mit wagerechter Platte, die in das Mauerwerk einband, eingelegt. Auf diesen wurden die später wieder zu entfernenden Schachtröhre festgeschraubt.



Abb. 32.

Bei den einheitlichen elliptischen Senkkasten wurde zwischen den Schnittpunkten der Ellipsen eine Querverbindung angeordnet, über welche ein Gurtbogen gespannt wurde, auf den sich das Mauerwerk aufsetzte. Der Arbeitsraum bestand so aus zwei Kuppeln, in deren Schluß je ein Schachtrohrstutzen eingemauert wurde. Die Senkkasten für die Lauenburger Elbbrücke sind das Vorbild für alle gemauerten Senkkasten gewesen.

Das Mauerwerk muß mit besonderer Sorgfalt ausgeführt werden und wird am besten innen und außen glatt verputzt, denn der innere Wandputz erhöht die Dichtigkeit des Senkkastens, und der äußere vermindert die Seitenreibung in dem umgebenden Erdreich. Die Bohlenlagen über dem eisernen Kranze läßt man zweckmäßig fort und erhöht und verbreitert statt dessen den

eisernen Kranz, weil der Anschluß des Mauerwerks an das Eisen ein besserer ist als an das Holz und auch die unterste Mauerschicht zwischen den Eisen des Kranzes gelegt werden kann. Die gemauerten Senkkasten können auch mit ganz geraden Wänden ausgeführt werden, die durch einzelne Gurtbögen ausgesteift werden, zwischen welchen dann am besten kegelförmige Hohlräume nach jedem Schachtrohre führen. An Stelle des Mauerwerks kann auch Beton verwandt werden, besonders solcher mit Eiseneinlagen. Senkkasten aus Eisenbeton sind auch im Auslande bereits mehrfach ausgeführt und lassen sich jedenfalls bedeutend widerstandsfähiger als gemauerte herstellen. Gemauerte Senkkasten empfehlen sich, wenn keine besonderen Hindernisse im Boden zu erwarten sind und wenn ein sehr tragfähiger Baugrund unter weicheren Schichten liegt, in welchem Falle man am besten einzelne runde Senkkasten durch den weichen Boden hindurchsenkt, deren Größe man genau der Festigkeit des Baugrundes und des Mauerwerkes anpassen kann.

Hölzerne Senkkasten werden vielfach in Amerika und in anderen Ländern angewendet, wo die Holzpreise so niedrig sind, daß 1 cbm Holz nicht viel mehr als 1 cbm Mauerwerk kostet. Auch in Deutschland sind sie verwandt, so bei der Mainbrücke bei Kostheim und bei der Oderbrücke bei Frankfurt, sie empfehlen sich auch bei höheren Holzpreisen in einem sehr schlechten Baugrunde, der an Tragfähigkeit mit der Tiefe nur wenig zunimmt. In Amerika hat man die Seitenwände und die Decke aus kreuzweise dicht übereinander gelegten Lagen von Hölzern oder nur die äußeren Umfassungswände, die schrägen innern Wände und die erste Deckenlage aus dicht an dicht gelegten Hölzern gebildet und die oberen Lagen ausbetoniert. Diese Konstruktionen

bedingen einen sehr großen Holzverbrauch, vorteilhafter ist daher die Konstruktion, wie sie bei der Mainbrücke verwandt ist (Abb. 33).

Der Senkkasten hatte 5 m Breite und 16,8 m Länge und wurde mittels 6 Spindeln von festen Gerüsten auf die Sohle hinabgesenkt. Die Außenwand bestand aus lotrechten 6 cm starken, die Innenwand aus wagerechten 5 cm starken gespundeten Bohlen, und der Bohlenbelag ist unmittelbar auf die 1,1 m voneinander entfernten Binder aufgenagelt. An den Aufhängepunkten waren Doppelbinder angeordnet.

Der Raum zwischen Innen- und Außenbekleidung wurde mit Beton ausgefüllt. Die Schneide war aus Eisen hergestellt. Zur Anbringung der Schachtrohre waren zwischen zwei Bindern Wechsel eingelegt und ein Blechkasten mit starker oberer Trag-

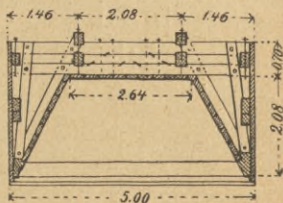


Abb. 33.

platte angebracht, auf welcher der Rohrfuß ruht. Zur Dichtung der Fugen wurde Kitt verwandt, und die Dichtigkeit hat nichts zu wünschen übrig gelassen. Der Feuergefahr wegen hat man die Arbeitsräume der hölzernen Senkkasten mit dünnem Blech ausgekleidet, dies dürfte aber entbehrlich sein, wenn man für eine ungefährliche Beleuchtung sorgt und das Rauchen oder Feuermachen im Senkkasten verbietet.

Zur Vermittelung des Verkehrs zwischen der gewöhnlichen Außenluft und der verdichteten Luft in der Arbeitskammer dienen die Luftschleusen, welche entweder unmittelbar über oder unter der Decke des Senkkastens sich befinden oder wie bei den meisten Kon-

struktionen oben über dem höchsten Wasserspiegel liegen und durch eiserne besteigbare Schachttrohre mit der Arbeitskammer in Verbindung stehen. Die letztere Anordnung hat den Vorteil, daß die Luftschleuse nicht im Pfeiler verbleibt, sondern ohne weiteres wieder bei anderen Gründungen verwendet werden kann, daß die Betriebssicherheit eine größere ist und keine doppelten Fördervorrichtungen erforderlich sind. Die tiefe Lage der Luftschleuse ist daher auch nur bei einigen ameri-

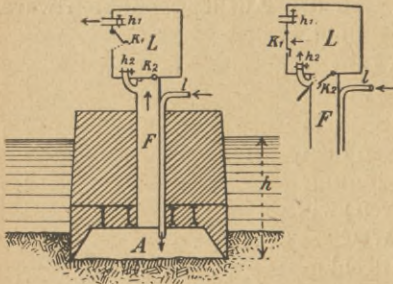


Abb. 34.

kanischen Ausführungen angewandt worden. Die Verkehrsverbindung der Arbeitskammer mit der Außenwelt ist im Prinzip folgende (vgl. Abb. 34). Die auf dem Förderschacht  $F$  sitzende Luftschleuse  $L$  besitzt 2 luftdichte verschließbare Klappen oder Türen  $K_1$  und  $K_2$ , von denen  $K_1$  nach innen aufklappbar ins Freie, die andere  $K_2$  nach dem Förderschacht sich öffnend in diesen und damit zur Arbeitskammer  $A$  führt. Ferner sind 2 Hähne  $h_1$  und  $h_2$  vorhanden, welche vom Innern der Schleuse geöffnet werden können und von denen  $h_1$  mit der Außenluft und  $h_2$  mit der verdichteten Luft im Arbeitsraum  $A$  in Verbindung steht. Die Arbeitskammer  $A$  und der Förderschacht  $F$  werden von einer Luftpumpe durch die Leitung  $l$  mit der Preßluft gefüllt. Sind die Klappe  $k_2$  und der Hahn  $h_2$  geschlossen und  $K_1$  und  $h_1$  geöffnet, so wirkt gegen die Klappe  $K_2$  der höhere Luft-



druck aus dem Arbeitsraum derart, daß sie nicht geöffnet werden kann, während in der Schleusenkammer  $L$  der gewöhnliche Luftdruck sich einstellt. Es kann also jetzt ein Arbeiter von außen in die Schleusenkammer einsteigen oder eingeschleust werden, er schließt dann die Klappe  $K_1$  und den Hahn  $h_1$ , öffnet langsam den Hahn  $h_2$  und läßt dadurch die Preßluft aus der Arbeitskammer  $A$  in die Schleusenkammer einströmen. Sobald ein Ausgleich des Luftdruckes in der Schleusenkammer und in der Arbeitskammer eingetreten ist, läßt sich die Klappe  $K_2$  öffnen, und die Verbindung zwischen Schleusenkammer  $L$  und der Arbeitskammer  $A$  ist hergestellt. Der Arbeiter kann jetzt durch den Förderschacht  $F$  in den Arbeitsraum  $A$  gelangen, und ebenso können Gefäße mit Boden oder Baustoffen aus der Arbeitskammer in die Schleusenkammer und umgekehrt gefördert werden. Um aus der Schleusenkammer wieder ins Freie zu gelangen, muß jetzt umgekehrt die Klappe  $K_2$  und der Hahn  $h_2$  geschlossen und der Hahn  $h_1$  geöffnet werden, die verdichtete Luft strömt dann aus, und nach Ausgleich des Luftdruckes kann die vorher durch die verdichtete Luft in der Schleusenkammer angepreßte Klappe  $K_1$  geöffnet werden, so daß die Verbindung mit der Außenluft wiederhergestellt ist und der Arbeiter oder die Gefäße ausgeschleust werden können. Diese im Prinzip dargestellte Verkehrsverbindung ist nun verschiedentlich ausgestaltet worden, und fast jede größere Unternehmung hat ihre eigenen Konstruktionen, insbesondere sind bei größeren Ausführungen die Personenschleusen von den Materialschleusen getrennt worden, um eine ununterbrochene Bodenförderung zu ermöglichen. Die Materialschleusen erhalten dann noch, um die Preßluftverluste beim Aus- und Einschleusen mög-

lichst zu verringern, 2 Kammern, die besonders verschließbar sind und vor der Ausschleusung bis oben hin gefüllt werden. Abb. 35 zeigt die von Brennecke für die Dömitzer Elbbrücke entworfene Luftschleuse mit einer Schleusenammer, aber mit abgetrenntem Materialraum *M*, der 4,45 cbm Boden faßt. Die Bodenförderung geschah unmittelbar durch Handaufzug in Eimern, das Eimertau lief oben in der Schleuse über

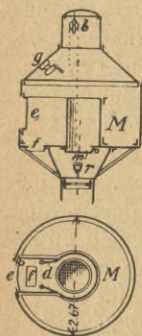


Abb. 35.

die Rolle *b* und unten im Senkkasten über eine dicht am Schachtrohr an der Decke angebrachte Rolle, so daß die Arbeiter einen wagerechten Zug ausübten. Zur Bedienung waren ein Arbeiter in der Schleuse und sechs bis sieben im Senkkasten erforderlich, welche in vierstündiger Schicht durchschnittlich zwei Schleusenfüllungen gleich rund 9 cbm losen Boden förderten. Die größte Förderhöhe war 15 m. Nach Füllung des Materialraumes wird die Klappe *m* zwischen Schleusenammer und Schachtrohr geschlossen und der in der kegelförmigen Decke angebrachte Hahn *g* geöffnet, so daß ausgeschleust werden kann. Der Boden wird durch die Seitentüren *d* in der Scheidewand zur Öffnung *f* im Schleusenboden gedrängt und stürzt durch letztere in Rinnen, welche außen an der Schleuse befestigt werden. *e* ist die Tür zum Einsteigen in die Schleusenammer, *r* die durch eine Ventilklappe mit Gummipackung geschlossene Einströmung für die verdichtete Luft. Der Hahn zum Einlassen der verdichteten Luft aus dem Schachtrohr in die Schleusenammer, wenn eingeschleust werden sollte, war oben auf der Scheidewand, und ein Kupferrohr verband diesen mit dem Schleusenboden.

Zum Lichteinlaß befand sich über der Rolle *b* eine Glaslinse.

Schleusen mit nur einer Kammer haben den Nachteil, daß jedesmal eine Unterbrechung der Förderung eintritt, wenn ausgeschleust werden soll, und daß dabei jedesmal eine größere Menge verdichteter Luft verloren geht. Diese Nachteile fallen aber bei geringeren Tiefen und kleineren Arbeiten nicht besonders ins Gewicht, und ist daher diese Konstruktion wegen ihrer großen Einfachheit, Leichtigkeit und infolgedessen billigen Beschaffung und bequemen Handhabung zu empfehlen. Bei großen Tiefen und großen Arbeiten dagegen ist ein ununterbrochener Betrieb erwünscht und sind daher getrennte Personen- und Materialschleusen mit ein oder zwei Kammern vorzuziehen. Derartige Schleusen sind aber bedeutend schwerer, man muß deshalb, um an Gewicht zu sparen, der starken Aussteifungen wegen gerade Wände und Decken möglichst vermeiden, vielmehr alle Teile zylinderförmig, kegelförmig oder als Kugelkalotten ausbilden. Die Konstruktion der Luftschleusen erfolgt im übrigen nach denselben Grundsätzen wie bei Dampfkesseln, und als Grundrißform ist die Kreisform stets die bequemste.

Die Förderung des Bodens erfolgt bei den kleineren Schleusen meist durch Kübel und Handbetrieb, bei den großen Schleusen durch Winden, welche von außen durch einen Motor angetrieben werden. Um das Ausschleusen der Aushubmassen zu umgehen, hat man auch Wasserstrahlpumpen nach Art der Ejektoren angewendet, bei denen der mit Wasser gemischte zerkleinerte Boden durch unter hohem Druck stehendes Wasser mitgerissen wird. Die Erfolge sind aber nicht günstig gewesen, weil sie von den Bodenarten und der Geschicklichkeit

der Arbeiter abhängen; empfehlenswert ist das Verfahren nur bei feinem Sand oder Schlamm Boden. Bessere Erfolge hat man durch das Ausblasen des Bodens mit Preßluft erzielt, indem man ein einfaches Gasrohr durch die Decke des Senkkastens bis auf etwa 0,5 m über den Boden führt, das sowohl an der Senkkastendecke als auch oben mit Absperrhähnen versehen ist. Der Sand wird in einem Hügel um das Rohr aufgeworfen und dann durch die Preßluft in das Rohr gedrückt und ausgeschleudert. Aber auch dies Verfahren eignet sich nur für Sandboden und ist bei Boden, der erst zerkleinert werden muß, wie Ton oder Lehm, nicht zu empfehlen.

Das wichtigste Zubehör bei der Luftdruckgründung sind die Luftpumpen. Sie werden nebst den Antriebsmaschinen meist so bemessen, daß sie imstande sind, die Arbeitskammer, Steigeschächte und Luftschleusen in einer Stunde mit Preßluft zu füllen und das darin befindliche Wasser herauszudrücken. Die hierbei zu leistende Arbeit ist die Verdichtung der Luft, das Verdrängen des Wassers aus dem Senkkasten und die Überwindung der Reibung des verdrängten Wassers in dem umgebenden Erdreiche. Der Luftbedarf hängt ab von der Größe des Senkkastens und der Wassertiefe, er vermindert sich nach beendeter Trockenlegung. Brennecke gibt die erforderlichen Luftmengen, welche die Pumpen in einer Stunde saugen müssen, für Tiefen von 2,1 bis 20,7 m unter Wasserspiegel bei 1,2 bis 3,0 Atm. absoluter Spannung der Luft an für Senkkasten von 30 qm Grundfläche zu 150 bis 471 cbm zur Trockenlegung und 147 bis 367 cbm zur Trockenhaltung, für Senkkasten von 60 qm Grundfläche zu 294 bis 948 cbm zur Trockenlegung und 200 bis 500 cbm zur Trockenhaltung und für

Senkkasten von 90 qm Grundfläche zu 438 bis 1308 cbm zur Trockenlegung und 275 bis 689 cbm zur Trockenhaltung. Der Unterschied nimmt also mit der Größe der Senkkasten zu, und man berechnet die Größe der Luftpumpen reichlich, wenn man die zur Trockenlegung erforderliche Luftmenge annimmt.

Die Luftpressen unterscheidet man in nasse und trockene. Bei den nassen Luftpressen arbeitet der Kolben in einem mit Wasser gefüllten Zylinder, wodurch zwar eine gute Kühlung der Luft erreicht, aber eine so geringe Kolbengeschwindigkeit bedingt wird, daß die Maschinen groß und teuer werden und daher für Gründungen nicht zu empfehlen sind. Bei den trockenen Luftpressen wird entweder die durch die Verdichtung erhitzte Luft durch Einspritzen von Wasser in den Zylinder gekühlt, oder das Kühlwasser umgibt nur den Zylinder. Die letztere Anordnung gestattet die größte Kolbengeschwindigkeit und somit die geringste Größe der Maschine bei größter Leistungsfähigkeit. Infolge ihrer bequemen Form und geringen Anschaffungskosten eignen sich daher die trockenen Luftpressen mit Außenkühlung für Gründungen am besten. Dazu kommt noch, daß bei Gründungen unter Wasser die zu heiße verdichtete Luft leicht nachkühlbar ist und daß vor allem die Luft nicht mit Wasserdampf gesättigt wird und daher weniger schweißtreibend wirkt. Die sekundlich zu leistende Arbeit dieser Maschine ist für 100 cbm Luftmenge in 1 Stunde bei 1,2 Atm. absoluter Spannung 1,35 P. S., bei 2,0 Atm. 4,2 P. S. und bei 3,0 Atm. 6,85 P. S. •

Die Versenkung bis auf den Grund erfolgt von festen oder schwimmenden Gerüsten aus mit Hilfe von Senkungsapparaten wie bei den Brunnen, oder aber man

umgibt den Senkkasten über der Decke mit einem wasserdichten Mantel, der ihn in einen Schwimmkörper verwandelt, und senkt diesen durch Ausführung des Fundamentkörpers im Schutze des Mantels allmählich auf den Grund. Die letztere Art stellt sich wegen des erforderlichen Blechmantels meist teurer als die erstere und empfiehlt sich nur für große Senkkasten bei tiefem

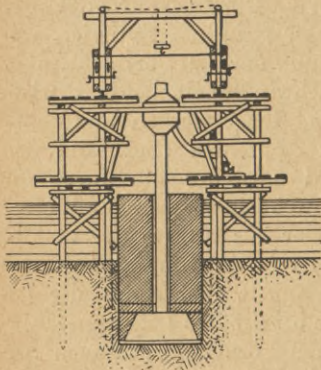


Abb. 36.

Wasser. Die übliche Art der Versenkung vom Gerüste aus ist die mit einzelnen Schraubenspindeln oder Ketten, welche an dem Senkkasten in einer leicht lösbaren Weise befestigt sind (Abb. 36), der Senkkasten ist bereits von den Ketten gelöst und in den Boden eingedrungen. Diese Art der Versenkung erfordert aber bei größeren Senkkasten eine große Anzahl

von Arbeitern und läßt doch eine Überlastung einzelner Spindeln nicht mit Sicherheit vermeiden; man wendet daher in neuerer Zeit mehr ein hydraulisches Verfahren an, indem man die Ketten an Wagebalken befestigt, die an Kolbenstangen in mit Wasser gefüllten Zylindern angreifen. Durch Ablassen des Wassers aus den Zylindern kann dann die Senkung erfolgen.

Sobald der Senkkasten fest aufsteht und das Wasser durch die verdichtete Luft entweder unter dem Rande hindurch oder bei dichtem Boden durch ein nach oben führendes Rohr, sogenannten Siphon, verdrängt worden

ist, muß die Verbindung mit dem Gerüst gelöst werden, da ein längeres Hängen an den Ketten bei plötzlicher zufälliger Verminderung des Auftriebes gefährlich werden kann. Es beginnt dann das Ausgraben und damit die Versenkung in den Boden. Zeigt dabei der Senkkasten die Neigung, nach einer Seite hinüberzugehen, so hat man nur nötig, an dieser Seite das Fortnehmen des Bodens zu unterlassen und dem Senkkasten dadurch eine größere Stützfläche zu schaffen, auf der gegenüberliegenden Seite aber die Schneide möglichst freizulegen. Die Reibung im Boden kann wieder wie bei den Brunnen durch glatte Außenflächen sowie durch Einziehen der Wände nach oben vermindert werden. Wird trotzdem die Reibung in dem Boden eine zu große, so daß sie durch das Gewicht des Pfeilers nicht mehr überwunden werden kann, so kann man sich dadurch helfen, daß man durch Öffnen eines großen Ventils plötzlich den inneren Luftdruck vermindert, so daß ein äußerer Überdruck eintritt der den Senkkasten zum Sinken bringt. Bei dieser gewaltsamen Senkung kann jedoch leicht ein Abreißen des Senkkastens vom Pfeilerkörper erfolgen, und empfiehlt sich daher von vornherein, beide Teile fest miteinander zu verankern. Eine langsame Luftverdünnung würde zwecklos sein, da dann das Wasser nur von außen unter der Schneide in den Senkkasten eindringen und viel Sand mit sich reißen, ein Sinken des Senkkastens aber nicht eintreten würde. Zur Beleuchtung der Schleusen und Senkkasten wurden früher Stearinkerzen benutzt, welche aber bei größer werdendem Luftdruck stark rußen, man wendet daher jetzt allgemein elektrische Beleuchtung an.

Für den Betrieb der Luftdruckgründungen sind besondere Sicherheitsmaßnahmen erforderlich, welche

einerseits hygienischer und andererseits technischer Art sind. In hygienischer Hinsicht ist zu beachten, daß eine hohe Spannung der Gase, aus welchen die atmosphärische Luft besteht, gesundheitsschädliche Wirkungen erzeugt, und zwar ist bis zu einer Atmosphäre Überdruck die Kohlensäure der schädlichste Bestandteil, man muß daher für ihre genügende Verdünnung durch frische Luft sorgen. Bei 1 bis 2 Atmosphären Überdruck wirkt dagegen der hochgespannte Sauerstoff durch zu lebhaftes Oxydation in den inneren Organen schädigend, und es muß daher der Sauerstoffgehalt vermindert werden, was man durch Überleiten von Luft über glühende Kohlen und Abfangen der sich bildenden Kohlensäure durch Kalkmilch erreichen kann. Die Beschaffenheit der verdichteten Luft und der Gesundheitszustand der Arbeiter ist somit dauernd zu überwachen. In technischer Hinsicht sind ähnliche Vorschriften wie für Dampfkessel erforderlich, also Wasserdruckproben der Luftschleusen vor jedesmaliger Benutzung auf das Doppelte des erforderlichen Luftdruckes, Manometer an der Schleuse und in der Nähe der Luftpumpen sowie auch in der Schleuse selbst, das letztere in beständiger Verbindung mit dem Senkkasten, um beim Einschleusen den Ausgleich des Luftdruckes beurteilen zu können, Sicherheitsventile, Reserveluftpumpen, Vorkehrungen für eine Verständigung der Arbeiter im Senkkasten und in den Schleusen mit der Außenwelt usw.

Nach Beendigung des Aushubes muß der Senkkasten ausgemauert oder ausbetoniert werden. Die Ausmauerung erfolgt am besten mit hart gebrannten Ziegeln und Ausfüllen der letzten Schicht unter der Decke mit Brocken von Dachsteinen. Besser als Mauerwerk ist aber Beton, weil man mit ihm bei Verwendung



feiner Zuschlagsstoffe alle Ecken gut ausstampfen kann. Die Förderung der Baustoffe erfolgt durch die Materialkammern in umgekehrter Weise wie bei der Bodenförderung, für das Einbringen von Beton werden die Schleusen aber meist mit besonderen Einrichtungen versehen. Die einfachste Art der Betoneinschleusung ist die Einbauung eines besonderen Betontrichters, der nach Füllung verschlossen wird und nach Einlassen der Preßluft sich unmittelbar in den Schacht entleert, sie hat aber den Nachteil, daß beim Abstürzen die gleichmäßige Durchmischung des Betons verlorengeht, indem sich Steine und Kies vom Mörtel trennen, auch trocknet der Beton in der hohen Temperatur der Schleuse bei langsamem Betrieb leicht aus. Will man diese Nachteile vermeiden, so verwendet man die etwas umständlichere Art des Einschleusens und Abförderns des Betons in geschlossenen Kübeln. In gleicher Weise wird auch der Mörtel zum Ausmauern eingebracht.

b) Die Taucherglockengründung. Bei diesem Gründungsverfahren wird ein eiserner Senkkasten nebst Luftschleuse entweder zwischen Schiffsgefäßen aufgehängt oder selbsttätig schwimmend gemacht, unter Wasser versenkt und mit Preßluft gefüllt, so daß das Wasser wieder aus der Arbeitskammer verdrängt wird und der Fundamentkörper hergestellt werden kann. Ist das Fundament so weit hochgeführt, wie es die Arbeitskammer zuläßt, so wird der Senkkasten gehoben und ein weiteres Stück Fundament hergestellt. In dieser Weise fährt man fort, bis das Fundament über Wasser hochgeführt ist (Abb. 37 s. nächste S.). Der Senkkasten dient also nur als Taucherglocke, in deren Schutz unter Preßluft das Fundament in einzelnen Teilen aufeinanderfolgend hergestellt wird, und der Senkkasten ist nicht verloren, son-

dern kann wiederholt benutzt werden. Die Taucherglocke erhält über der eigentlichen Arbeitskammer eine allseitig abgeschlossene Gleichgewichts- oder Schwimmkammer, in welche nach Bedarf Ballast eingebracht oder Wasser eingelassen wird. Die Arbeitskammer hat eine Höhe von 2,0 bis 2,5 m, so daß jedesmal nur Schichten von 1,0 bis höchstens 1,5 m Höhe hergestellt werden können. Der

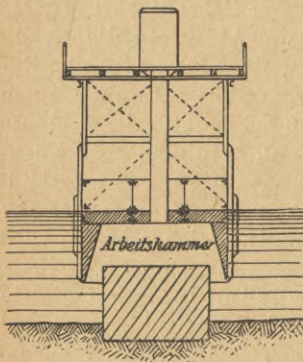


Abb. 37.

Bodenaushub kann unter der Taucherglocke mit Rücksicht auf das Wiederausheben der Glocke nur bis zu einer geringen Tiefe erfolgen. Beides sind Nachteile, welche dieses Verfahren für volle Pfeilerkörper nicht empfehlenswert machen; es kann nur in Frage kommen, wenn die Wassertiefe bis zum guten Baugrund nur gering, etwa 5 bis 6 m ist, bei größeren Tiefen werden die Betriebskosten und die Mehrkosten der Arbeit in

der Preßluft bedeutender als die Kosten für einen verloren zu gebenden Senkkasten aus Mauerwerk oder Eisen. Günstiger ist jedoch das Verfahren, wenn es sich um die Herstellung großer zusammenhängender Fundamente wie bei Schleusen und Docks handelt, hier ist die Taucherglockengründung selbst bei höherem Preise einer Gründung auf einheitlichem verlorenen Senkkasten vorzuziehen.

## 7. Gefriergründung.

Wenn Triebssand oder andere leicht bewegliche wasserdurchtränkte Erdschichten von größerer Mächtigkeit durchteuft werden müssen und eine Abdichtung durch Spundwände nicht mehr möglich oder die Tiefe so groß ist, daß sie mit der Luftdruckgründung nicht mehr erreicht werden kann, kann auch für Gründung von Brückenpfeilern die Gefriergründung zur Anwendung kommen. Dieses Verfahren besteht darin, daß durch Einführen von künstlich hergestellter Kälte in den wasserhaltigen Boden das Wasser in demselben in Eis verwandelt wird. Dadurch nimmt der früher schwimmende Boden eine steinartige Beschaffenheit an und kann wie Felsen durchteuft werden. Das Verfahren ist beim Abteufen von Schächten in schwimmendem Gebirge vielfach mit Erfolg angewendet und dem Berg- und Hütteningenieur Poetsch patentiert worden. Als Träger der Kälte wird eine Flüssigkeit benutzt, die erst bei hohen Kältegraden gefriert, wie Chlorkalziumlauge, deren Gefrierpunkt bei  $-40^{\circ}$  liegt, oder auch kalte Luft im hohen Norden. Zur Erzeugung der Kälte können Kältemaschinen der verschiedensten Systeme benutzt werden.

Der Bauvorgang ist folgender: Rund um die Baugrube werden in Abständen von 0,8 bis 1,0 m Rohre von etwa 175 mm Weite mittels Bohrung eingetrieben, in diese werden dann Rohre von 30 mm Weite eingehängt, welche oben an ein Verteilungsrohr angeschlossen werden und unten mit seitlichen Löchern versehen sind. Die in der Eismaschine frisch gekühlte Lauge wird nun durch ein Zuflußrohr in das Verteilungsrohr und von hier in die einzelnen dünnen senkrechten Rohre

geleitet, gelangt dann durch die Löcher an den unteren Enden dieser Einstromungsrohre in die weiteren Rohre, steigt in diesen mit geringer Geschwindigkeit von unten nach oben auf und fließt schließlich in einem zweiten Sammelrohr wieder zur Eismaschine zurück, um von neuem gekühlt zu werden (Abb. 38). Beim Aufsteigen in den weiteren Rohren gibt die Lauge einen Teil ihrer

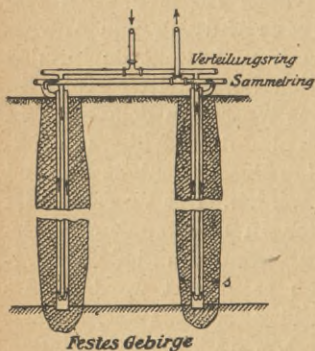


Abb. 38.

Kälte an die äußere Rohrwand und durch diese an den umgebenden Boden ab, den sie dadurch zum Gefrieren bringt. Die äußeren in den Boden getriebenen Rohre sind also die eigentlichen Kühl- oder Gefrierrohre. Ein notwendiges Erfordernis für die Ausführung der Gefriergründung ist, daß das Grundwasser sich in Ruhe befindet, damit sich die Eisbildung vollziehen kann;

schon geringe Strömung verzögert das Gefrieren wesentlich oder macht es unmöglich.

Der Frostkörper, welcher sich um das einzelne Gefrierrohr bildet, ist in der Mitte am stärksten, seine Festigkeit ist am größten, wenn der Boden vollständig mit Wasser gesättigt ist, und vermindert sich mit abnehmendem Wassergehalt. Steht unter dem wasserführenden Boden eine undurchlässige Schicht an, so sind die Gefrierrohre so tief in diese zu treiben, daß die etwa noch vorhandene Verjüngung des Frostkörpers fast ganz in die letztere fällt. Kann ein höherer Grund-

wasserstand eintreten, wie er zur Zeit des Gefrierens vorhanden ist, so ist die Frostmauer genügend zu erhöhen, indem man den Boden oberhalb des Grundwassers künstlich mit Wasser sättigt, weil sonst ein Überlaufen der Frostmauer bei steigendem Grundwasser zu befürchten ist.

Für die Zeit  $Z$ , welche erforderlich ist, um in stehendem Grundwasser mit kreisrunden, in 1 m Abstand eingetriebenen Gefrierrohren die Frostkegel zweier benachbarter Gefrierrohre zum vollen Zusammenschluß zu bringen, gibt Brennecke folgende Formel an:

$$Z = \frac{1,158 t_0 \cdot a^n l \cdot \delta}{t_1 \cdot v \cdot d.}$$

Hierin bezeichnet  $t_0$  die Temperatur des Bodens, den man gefrieren lassen will,  $t_1$  die Temperatur, mit der die Lauge in die Gefrierrohre eintritt,  $-20$  bis  $-25^{\circ}$ , und  $v$  die Geschwindigkeit, mit der die Lauge im Gefrierrohr hochsteigt,  $l$  die Länge,  $d$  die Weite und  $\delta$  die Wandstärke der Gefrierrohre,  $a$  die Entfernung der Gefrierrohre voneinander, gewöhnlich 1,0 m. Ist  $t_0 = +10^{\circ}$ ,  $t_1 = -20^{\circ}$ ,  $v = 0,015$  m,  $l = 30$  m,  $d = 0,175$  m,  $\delta = 0,008$  m und  $a = 1$  m, so erhält man die zur Herstellung einer geschlossenen Frostwand erforderliche Zeit nach dieser Formel zu rund 50 Tagen. Diese Zeit wird mindestens erforderlich sein, meist ist sie bedeutend überschritten worden. Poetsch berechnet die Zeitdauer des Zusammenfrierens näherungsweise aus der Eismenge, welche die Eismaschine zu liefern vermag: indem er die ganze festzumachende Erdmasse durch die stündliche Eislieferung der Maschine dividiert, erhält er die Stundenzahl, welche zum Zusammenfrieren erforderlich ist. Jedenfalls ist die Zeit eine erhebliche, und dies wird die Wahl dieser sonst auch bei tiefen

Pfeilergründungen vorteilhaften Gründungsart wesentlich beeinflussen.

Bei Pfeilergründungen empfiehlt es sich auch, die Gefrierrohre in solcher Entfernung von dem Pfeilerkörper anzuordnen, daß der auszuhebende Boden selbst nicht zum Gefrieren kommt. Man vermeidet dann die Gefahr, daß das Mauerwerk oder der Beton des Fundamentes in frischem Zustande von dem Frost angegriffen und daß der Untergrund unter dem Fundament durch Auffrieren gelockert wird. Ist der Untergrund undurchlässig, so kann das Wasser zwischen dem Frostdamm und dem dichten Untergrunde leicht durch Pumpen beseitigt werden und die Schachtauszimmerung oder das Absenken eines Brunnens im Trockenen erfolgen. Die Gefrierrohre ordnet man am besten in einem Kreise an, weil eine kreisrunde Frostmauer die gleichmäßigste Widerstandsfähigkeit besitzt.

Die erforderliche Dicke  $\delta$  der Frostmauer kann man ähnlich wie bei Brunnen nach der Laméschen Formel

$$\delta = r \left[ -1 + \sqrt{\frac{k}{k - 2p}} \right] \text{ berechnen, vgl. S. 76. Als}$$

äußerer Druck kommt nur der Wasserdruck in Betracht, weil entweder der Erddruck von innen nicht aufgehoben oder die Frostmauer von innen gestützt wird, für die

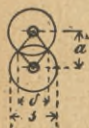


Abb. 39.

Gründungstiefe  $t$  unter dem Grundwasserspiegel wird daher wieder  $p = 0,0t \text{ kg/qcm}$ . Die zulässige Beanspruchung  $k$  kann man zu 30 bis 40  $\text{kg/qcm}$  annehmen. Aus der erforderlichen Stärke  $\delta$  der Frostmauer und der Stärke des erreichbaren Frostkegels um jedes Gefrierrohr läßt sich dann ohne weiteres der Abstand  $a$  der Gefrierrohre nach Abb. 39 berechnen aus der

Gleichung  $a^2 = s^2 - \delta^2$ . Bei Schachtabteufungen wird im allgemeinen eine Frostmauer von 4 bis 5 m Stärke für ausreichend gehalten, um dem Druck des schwimmenden Gebirges zu widerstehen.

Ist die wasserdichte Einschließung der Baugrube durch die Frostmauer vollendet, so erfolgt das Abteufen des Schachtes. Dies kann auf dem Lande geschehen, indem man die Baugrube mit geböschten Wänden aushebt oder mit senkrechten Wänden mit einfacher Bretterverschalung schachtartig abteuft. Bei Gründungen im Wasser muß vor dem Einbringen der Gefrierrohre entweder ein Fangedamm hergestellt, oder es muß ein oben und unten offener wasserdichter Kasten aus Holz oder Eisen bis auf den Grund versenkt und durch Sandsäcke oder Faschinen gegen Unterspülung geschützt werden. An Stelle der Schachtabteufung können auch innerhalb der Frostmauer Brunnen versenkt werden, und dies hat den Vorteil, daß man einen großen Teil des Fundamentes schon gleichzeitig mit den Erdarbeiten fertigstellen kann und daß das frische Mauerwerk, welches man stets möglichst hoch über Flußsohle ausführt, nicht in unmittelbare Berührung mit dem gefrorenen Boden kommt. Die Brunnen können hierbei leicht trocken gehalten werden, so daß auch etwaige Hindernisse unter den Brunnenkränzen wie Baumstämme, Steine unschwer beseitigt werden können. Die Brunnengründung ist also mit Hilfe der Gefriergründung auch für sehr unreinen Baugrund ausführbar, während für reinen Baugrund die Frostmauer fortfallen kann und die einfache Brunnengründung genügt.

Besteht der Baugrund aus einer wasserdurchlässigen Schicht und ist eine wasserdichte Schicht in erreichbarer Tiefe nicht vorhanden, so muß außer der Um-

schließung der Baugrube durch eine Frostwand auch die Sohle durch Frost gedichtet, also der ganze Boden über der Bausohle in einen geschlossenen Frostkörper verwandelt werden. Dadurch wird aber bei großen und tiefen Fundamenten die Arbeit ungemein langwierig und teuer, und es wird bei derartigen Bodenverhältnissen so lange wie möglich die Luftdruckgründung der Gefriergründung vorzuziehen sein.

### 8. Zusammengesetzte Gründungsarten.

Sehr häufig machen die örtlichen Verhältnisse es zweckmäßig, verschiedene Gründungsarten zu vereinigen, so daß dadurch eine zusammengesetzte Gründung entsteht. Insbesondere können die Betongründung und der Pfahlrost vorteilhaft mit anderen Gründungsarten vereinigt werden, da der Beton fast überall leicht herzustellen und es mit dem Pfahlrost möglich ist, den sonst zu tief liegenden festen Baugrund zu erreichen oder doch wenigstens eine Verdichtung des Bodens herbeizuführen. Die Verbindung eines Pfahlrostes aus eingerammten Holzpfählen mit einer Betonplatte oder aus Eisenbetonpfählen mit einer Eisenbetonplatte ist heute wohl die üblichste Gründungsart bei gewöhnlichen Verhältnissen. Bei größeren Tiefen kommt dann die Vereinigung der offenen Brunnengründung oder der Luftdruckgründung mit dem Pfahlrost und bei ganz großen Tiefen die Fortsetzung der Luftdruckgründung mittels der Gefriergründung in Betracht.

In ruhigem Wasser kann man auch Pfahlrost und Sandschüttung vereinigen, indem man zunächst die obere weiche Bodenschicht durch eine Sandschüttung verdrängt, in diese die Rostpfähle und um sie herum



eine Spundwand einschlägt. Innerhalb der Spundwand können dann die Rostpfähle abgeschnitten und mit Beton umschüttet werden.

Bei der offenen Brunnengründung mit Pfahlrost wird zunächst der Brunnen so weit abgesenkt, als man es für zweckmäßig hält, oder bis zu einer Tiefe, von welcher aus man mit den Pfählen den festen Baugrund erreichen kann; sodann werden innerhalb des Brunnens die Pfähle eingerammt, erforderlichenfalls, wenn das Wasser nicht ausgepumpt werden kann, unter Benutzung von Rammknechten, und schließlich wird der Brunnen ausbetoniert oder ausgemauert. Bei der Luftdruckgründung mit Pfahlrost muß nach dem Absenken des Senkkastens dieser entweder in einen oben offenen Senkkasten umgewandelt werden, so daß die Pfähle eingerammt werden können, oder es können von der Arbeitskammer aus eiserne Schraubenpfähle, die man aus mehreren Teilen zusammensetzen kann, eingetrieben, bzw. Betonpfähle hergestellt werden, die ohne Rammarbeit ausführbar sind. Schließlich können auch die Rostpfähle mit Hilfe von Rammknechten vorher eingerammt und dann der Senkkasten mit Schächten und Luftschleuse auf den Boden des Flußbettes abgesenkt und durch Einlassen von Preßluft die Arbeitskammer von Wasser befreit werden, worauf die Pfähle abgeschnitten und der Senkkasten so weit versenkt wird, daß die genügend stark hergestellte Decke der Arbeitskammer auf den Pfahlköpfen aufruht.

Um von der offenen Brunnengründung zur Luftdruckgründung übergehen zu können, müssen die Brunnen von vornherein so eingerichtet werden, daß sich an ihrem unteren Ende durch luftdichte Überdeckung eine Arbeitskammer ausbilden läßt, auf welche eine entspre-

chende Luftschleuse gesetzt werden kann. Dies geschieht am einfachsten, indem man über einem gewöhnlichen Brunnenkranz das Mauerwerk so weit überkragt, daß nur noch ein Schacht von 1,5 bis 2 m Weite übrigbleibt, welcher genügt, um den Boden zu fördern, und am Schluß der Auskragung einen eisernen Ring einmauert, auf welchen das Schachtrohr aufgesetzt werden kann. Die Vorkehrung, bei offener Brunnengründung auch zur Luftdruckgründung übergehen zu können, macht diese Gründungsart wesentlich leistungsfähiger und empfiehlt sich besonders, wenn Hindernisse im Boden zu erwarten sind.

Die Fortsetzung der Luftdruckgründung mittels der Gefriergründung kann notwendig werden, wenn die Tiefe so bedeutend wird, daß die Anwendung des Luftdruckes nicht mehr ausführbar ist, ohne die Arbeiter zu gefährden, und dies ist bei etwa 35 m unter Wasserspiegel der Fall. Es wird in einem solchen Falle zunächst ein eiserner oder gemauerter Senkkasten mit Hilfe verdichteter Luft bis zu einer Tiefe abgesenkt, welche für die Gesundheit der Arbeiter ungefährlich ist, dann werden längs der Schneide des Senkkastens die Gefrierrohre in schräger Richtung nach außen bis in den festen Baugrund eingeschraubt oder eingebohrt und ein ring- oder kegelförmiger Bodenkörper zum Gefrieren gebracht. Alle diese Arbeiten erfolgen noch unter Luftdruck. Erst wenn die Frostwand gebildet und an die Senkkastenschneide angeschlossen ist, kann man die verdichtete Luft entweichen lassen, die Luftschleuse entfernen und dann in freier Luft innerhalb der Frostmauer den Schacht weiter abteufen und nach Erreichung des festen Baugrundes ausbetonieren.

## 9. Sicherung der Grundbauten gegen Unterspülung.

Die wenig tief hinabreichenden sowie die von leicht beweglichem Boden umgebenen Grundbauten bedürfen in fließendem Wasser eines besonderen Schutzes gegen Unterspülung bei Mittelpfeilern und gegen Hinterspülung bei Widerlagern. Die Schutzwerke richten sich nach den örtlichen Verhältnissen, und es kommen hauptsächlich in Betracht Spund- oder Pfahlwände, Steinschüttungen, Faschinen, Sinkstücke, Pflasterung, Einbau von Grundswellen und Herdmauern. Um zu verhüten, daß sich unter der Pfeilersohle Wasseradern hinziehen, welche durch Fortspülen des Bodens ein Setzen des Pfeilers und schließlich die Zerstörung des Bauwerkes herbeiführen können, ist bei weicheren Bodenarten und weniger starkem Wasserdruck das Schlagen von Spundwänden oder Pfahlwänden das wirksamste Mittel. Um auch das Fortspülen des Bodens seitlich der Fundamente in fließendem Wasser zu verhindern, bilden Steinschüttungen oder Abdeckungen der Flußsohle mit Senkfaschinen oder Sinkstücken das am häufigsten angewandte Schutzmittel. Die Größe der Steine muß sich nach der größten vorkommenden Stromgeschwindigkeit richten, damit sie nicht von der Stromkraft des Wassers hin- und hergeworfen oder fortgerollt werden. Sind größere Steine schwer zu heben und zu kostspielig, so verwendet man vorhandene kleinere Steine in Senkfaschinen oder Sinkstücken. Steinschüttungen und Senkfaschinen werden bisweilen noch durch Pfahlwerke gesichert, indem man um die Fundamente herum Pfähle einschlägt, deren Zwischenräume mit Steinen oder Faschinen gefüllt werden. Wo es möglich ist, pflastert man auch die Steinschüttungen regelrecht ab. Die Steinschüttung muß bei

allen Brückenpfeilern hauptsächlich die Vorköpfe schützen, sie darf nicht hoch über die Flußsohle hinausragen, muß aber dafür tiefer in das Flußbett hineinreichen und kann nach den Hinterköpfen zu an Stärke abnehmen, weil für diese die Gefahr der Unterspülung eine erheblich geringere ist. (Abb. 40.)

Steinschüttungen und Faschinen schützen aber immer nur den Teil der Flußsohle, welchen sie unmittelbar bedecken; will man bei leicht beweglichem Boden die Sohle in der ganzen Breite sichern, so muß man auch zwischen den Steinschüttungen an den einzelnen Pfeilern Steinwürfe von geringerer Stärke anordnen und erhält dann sogenannte Steinbettungen, welche die ganze Flußsohle längs des zu schützenden Bauwerks bedecken. In

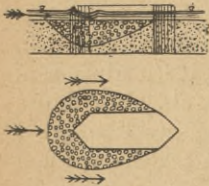


Abb. 40.

manchen Fällen genügt es, durch Grundswellen, Herdmauern oder Steindämme die Flußsohle zu befestigen. Bei sehr starken Geschwindigkeiten des Wassers oder starkem Schube des Hinterfüllungsbodens verbindet man auch die gegenüberliegenden Stirnmauern durch durchgehende Sohlengewölbe oder durch Betonschüttungen, wenn die Trockenlegung der Baugrube schwierig ist.

## V. Die Kosten der Gründungen.

Die Kosten für die Gründungen der Brücken setzen sich, wie bei allen Bauarbeiten, zusammen aus den Kosten für die Baustoffe, für die Arbeitslöhne, für Werkzeuge, Geräte und etwaige maschinelle Betriebe, sowie für die Hilfsmaterialien. Zu den Baustoffen gehören alle Stoffe, welche in den Grundbau übergehen,

und die Kosten ergeben sich aus den Gewinnungs- oder Einkaufskosten und den Kosten für das Heranschaffen, Aufmessen und Unterbringen auf der Baustelle. Zu den Hilfsmaterialien zählt alles Material, welches nicht als Bestandteil des Grundbaues wieder auftritt, sondern zur Herstellung der Hilfskonstruktionen und Hilfsanlagen dient, welche zur Ausführung des eigentlichen Baukörpers erforderlich sind, als Transportgerüste, Ramm- und Betonierungsgerüste, Schalungen usw. Maschinelle Betriebe sind bei Bauarbeiten als Hilfsbetriebe anzusehen, welche die Produktivität der Arbeit erhöhen; ihre Kosten setzen sich zusammen aus den Kosten für das Vorhalten und Aufstellen der Maschinen, sowie für die Betriebsstoffe und die Bedienung.

Zu diesen Kosten kommen dann weiter die Kosten, welche durch die Vorbereitung und Leitung der Bauausführung entstehen, d. s. die Betriebsunkosten, und schließlich noch die allgemeinen Kosten für die Organisation der Verwaltung oder die Geschäftsführung der Unternehmung, welche als Verwaltungs- oder Geschäftsunkosten bezeichnet werden. Diese Unkosten werden für den ganzen Bau ermittelt und als prozentuale Zuschläge auf die einzelnen Bauarbeiten verteilt. Alle diese Kosten gehören zu den Selbstkosten, der Unternehmer hat also noch einen Zuschlag für Risiko und Gewinn zu machen, um den Lieferpreis zu erhalten.

Alle Kosten sind nun abhängig von den zeitlichen und örtlichen Verhältnissen, insbesondere spielen bei allen Bauarbeiten die Arbeitslöhne eine große Rolle. Wie groß die Unterschiede in den Preisen der Baustoffe und in den Arbeitslöhnen werden können, hat uns der Krieg und seine Folgen gelehrt und zeigen folgende Angaben:

	1913 M.	1919 M.
Ziegelsteine, 1000 St. ab Herstellungsort	25	90
Weißkalk, 1000 kg „ „	15	40
Zement, 1000 kg „ „	32	86
Schnitthölzer, 1 cbm „ „	50	145
Walzeisen, 1000 kg „ „	115	420
Durchschnittslohnsätze für 1 Stunde		
gelernte Arbeiter .....	0,72	2,30
ungelernte „ .....	0,43	1,85

Alle Angaben über Durchschnittskosten für Gründungsarbeiten haben daher auch nur zeitigen und selbst dann nur bedingten Wert, weil bei allen Gründungen noch der Ort der Ausführung und die örtlichen Verhältnisse selbst die Kosten wesentlich beeinflussen. Eine richtige Preisberechnung ist nur möglich, wenn die einzelnen Arbeiten in ihre Elemente zerlegt und die Kosten für die einzelnen Elemente den zeitlichen und örtlichen Verhältnissen entsprechend ermittelt werden\*).

Die Grundlage für die Berechnung der Kosten bilden die Massenberechnung und die Zeichnungen, aus ihnen ergibt sich Art und Umfang der Arbeiten. Und die Berechnung der Einheitspreise für die Arbeiten erfolgt dann aus den Kosten für die einzelnen Bau- oder Arbeitselemente. Am schwierigsten ist dabei die Ermittlung der Arbeitslöhne, man schätzt sie in der Regel nach der Erfahrung, aber richtiger ist, wenn man

\*) Ausführlicheres über Preisermittelungen in Th. Jansen, Der Bauingenieur in der Praxis, Verlag Jul. Springer, Berlin 1913.

stets von der Durchschnittsleistung eines Arbeiters in einer Stunde ausgeht.

Die einzelnen Gründungsarten erfordern sehr verschiedenartige Arbeiten, welche zwar ihrer Art nach feststehen, aber ihrem Geldwert nach schwer zu erfassen sind. Solange es sich um Flachgründungen handelt, bei welchen eine Wasserbewältigung überhaupt nicht oder doch nur in sehr geringem Umfang erforderlich ist, sind die Kosten mit ziemlicher Genauigkeit feststellbar; mit der Größe der Wasserbewältigung und mit dem Umfange der unter Wasser vorzunehmenden Arbeiten wächst aber die Unsicherheit der Kostenberechnung, und ist man mehr oder weniger auf Schätzung angewiesen. Im allgemeinen sind diejenigen Gründungsarten, bei welchen die sicher zu berechnenden Kosten größer, die nur zu schätzenden erfahrungsgemäß geringer sind, anderen vorzuziehen, bei welchen das Umgekehrte der Fall ist. Dies gilt besonders für Baugrund, bei dem außergewöhnliche Hindernisse, Steine und Baumstämme, im Grunde oder andere Zufälligkeiten, wie Hochwasser, zu erwarten sind. In solchen Fällen kann die vorherige Kostenberechnung für Gründungen auf Beton mit oder ohne Grundpfähle und mit gewöhnlichen Senkbrunnen sich billiger stellen, wie für Luftdruckgründungen, während bei der Ausführung häufig das Umgekehrte der Fall ist. Man wählt daher zweckmäßig stets die Gründungsart, bei welcher die Sicherheit in der Überwindung des Wasserzudranges und aller Schwierigkeiten, die der Baugrund bietet, am größten ist. In dieser Hinsicht bietet die Luftdruckgründung die meiste Sicherheit, und dies ist der Grund, daß man sie jetzt auch bereits bei geringen Tiefen von 5 m unter Wasser an wählt. Auch die Gefriergründung hat die gleichen Vor-

züge, wenn sie auch sonst der hohen Kosten wegen vorläufig noch immer nur im Notfalle in Frage kommen kann.

Die Brunnengründung ist bei gutem Baugrund stets billiger als die Gründung auf Beton mit oder ohne Pfahlrost, da man bei ihr die Größe der Grundfläche nach der Tragfähigkeit des Baugrundes bestimmen kann, während man bei Betonfundamenten innerhalb eines Fangedammes, auch bei sehr tragfähigem Baugrunde, der Ausführung wegen das Fundament größer anlegen muß, als es der Tragfähigkeit des Baugrundes wegen notwendig wäre. Die Brunnengründungen empfehlen sich also besonders dort, wo unter einer weichen Schicht sich ein fester Baugrund findet, während Betonfundamente besser auf einem mittelmäßigen oder schlechten Baugrunde errichtet werden, der an und für sich schon eine Verbreiterung des Fundamentes verlangt.

Bei den Flachgründungen kommen nur Erd- und Maurer- oder Betonarbeiten in Betracht. Bei den Erdarbeiten, d. i. bei dem Aushub der Baugrube kann die Leistung eines Arbeiters bei mittelfestem Boden zu 0,60 cbm in einer Arbeitsstunde angenommen und für das Vorhalten der Handgeräte können etwa 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub> der Lohnkosten gerechnet werden. 1 cbm Fundament aus Mauerwerk erfordert 400 Ziegelsteine und 300 l Mörtel oder 1,25 cbm Bruchsteine und 330 l Mörtel, aus Beton im Mischungsverhältnis von 1 Raumteil Zement und 8 Raumteilen Kiessand bei 1400 kg/cbm Gewicht des Zementes, 1,25 cbm Kiessand und 220 kg Zement. An Arbeitslöhnen können für 1 cbm Grundmauerwerk gerechnet werden:

aus Bruchstein	4	Maurerstunden	u. 6 bis 7	Arbeiterstunden
„ Ziegel	3	„	„ 5 „ 6	„
„ Beton mit Handmischung	3	Betonarbeiterstunden	und 4 bis 5	Arbeiterstunden.



Ist Wasser vorhanden und soll die Baugrube trocken-gelegt und erhalten werden, so kommen die Kosten für die Herstellung der Fangedämme oder sonstigen Umschließungen und für die Wasserhaltung während der Bauzeit hinzu. Bei allen Gründungsarbeiten, bei welchen starkes Wasserschöpfen notwendig ist, sind die Wasserhaltungsarbeiten, ihre Schwierigkeiten und Kosten nach den örtlichen Verhältnissen, nach dem Umfang der Baugrube und nach der Stärke des Wasserandranges so verschieden, daß allgemeine Angaben darüber nicht gemacht werden können. Man geht bei der Berechnung der Kosten am besten so vor, daß man die zu fördernde Wassermenge nach Erfahrung oder Schätzung annimmt und danach die erforderlichen Pumpen und den Kraftbedarf ermittelt.

Beim Schwellrost und Holzpfahlrost sind die Holzpreise, beim Beton- und Eisenbeton-Pfahlrost die Preise für den Beton und die Betonpfähle maßgebend, für die Pfahlroste kommen außerdem die Kosten der Rammarbeiten hinzu. Bei den Rammarbeiten kann die erforderliche Arbeitsleistung für das Einrammen eines Pfahles oder einer Spundbohle aus dem Gewicht des Pfahles und aus dem Eindringungswiderstand des Bodens ermittelt und daraus die Arbeits- oder Betriebskraft berechnet werden. In der Regel rechnet man aber umgekehrt, man geht von einem gegebenen Rammgerät aus und berechnet die täglichen Betriebskosten sowie die Nettoleistung am Rammbaren, welche zu 50 bis 60<sup>0</sup>/<sub>0</sub> der mechanischen Arbeit des Rammbaren, d. i. Gewicht  $\times$  Fallhöhe in mkg, angenommen werden kann. Sodann schätzt man nach Pfahlgewicht und Bodenverhältnissen die zum Einrammen eines Pfahles erforderliche Arbeitsleistung in mkg und

kann dann unter Berücksichtigung aller Nebenarbeiten die tägliche Leistung und durch Division der Betriebskosten mit der Leistung den Einheitspreis für 1 m Pfahl berechnen.

Bei der Senkkasten- und Brunnengründung ist die Bodenart, die Art des Bodenaushubs und die Tiefe, bis zu welcher abgesenkt werden muß, von wesentlichem Einfluß auf die Gesamtkosten. Bei dem Bodenaushub ist zu berücksichtigen, daß die auszuhebende Masse bei losen Bodenarten das 1,5 bis 3 fache des äußeren Rauminhalts des Senkkastens oder Brunnens betragen kann, weil stets ein seitliches Nachrutschen des Bodens stattfindet. Zur Berechnung der Kosten für 1 cbm mit gewöhnlichen gemauerten Senkbrunnen im Wasser hergestellten Fundament unter Voraussetzung mittleren Bodens, d. h. eines Bodens, bei dem nur mittlere Schwierigkeiten vorkommen, hat Brennecke aus den Kosten ausgeführter Gründungen folgende Formeln abgeleitet:

Brunnenkränze aus Eisen:

$$p = \frac{U}{G \cdot t} \left[ 0,15 \gamma + \frac{100}{v \cdot n} + \frac{290 a + 18 (n - a)}{n} \right] + 1,03 \beta + \frac{t_2}{t} [6,5 + (2t - t_2) 0,8].$$

Brunnenkränze aus Holz:

$$p = \frac{U}{G \cdot t} \left[ 0,15 \psi + \frac{100}{v \cdot n} + \frac{290 a + 18 (n - a)}{n} \right] + 1,03 \beta + \frac{t_2}{t} [6,5 + (2t - t_2) 0,8].$$

Hierin bedeutet  $p$  den Preis für 1 cbm Fundament mit der Grundfläche  $G$  in qm und der Tiefe  $t$  der Fundamentsohle vom niedrigsten Wasser (Gründungs-

tiefe),  $U$  den Umfang oder die Summe der Umfänge sämtlicher zu einem Fundament gehöriger Brunnen,  $v$  die Anzahl der zu einem Fundament gehörigen Brunnen,  $n$  die Anzahl der zu gründenden Pfeiler,  $a$  die Anzahl der Gerüste, für welche das Holz beschafft werden soll,  $t_2$  den Abstand der Fundamentsohle von der Flußsohle (Versenkungstiefe),  $\beta$  den Preis für 1 cbm fertiges Mauerwerk,  $\gamma$  den Preis für 1 t Gewicht des eisernen Brunnenkranzes,  $\psi$  die Kosten für 1 cbm hölzerner Brunnenkränze einschließlich Arbeitslohn und Bolzen. Gewicht der eisernen Brunnenkränze für 1 m Umfang 0,15 t bei Gründungen im Wasser und 0,1 t bei Gründungen auf dem Lande. Querschnitt der hölzernen Brunnenkränze 0,15 qm für 1 m Umfang. In dem Glied für die Bodenförderung  $\frac{t_2}{t} [6,5 + (2t - t_2) 0,8]$  ist

als Preis für die Bodenförderung zu Anfang der Senkung 6,5 Mk./cbm bei einem Stundenlohn eines Arbeiters von 0,35 Mk. und eine Zunahme mit der Tiefe von 0,8 angenommen. Diese beiden Zahlen sind also je nach den Lohnsätzen und den Schwierigkeiten, die der Baugrund bietet, zu ändern und können bei sehr gutem Boden zu 4,75 bei 0,35 Mk. Stundenlohnsatz und 0,6 angenommen werden.

Bei Gründungen auf dem Lande wird  $t_2 = t$ , und die Kosten für Senkungseinrichtungen und Gerüste fallen fort. Die Formeln lauten dann:

für eiserne Kränze

$$p = \frac{U}{G \cdot t} 0,1 \gamma + 1,03 \beta + 6,5 + 0,8 t,$$

für hölzerne Kränze

$$p = \frac{U}{G \cdot t} \cdot 0,15 \psi + 1,03 \beta + 6,5 + 0,8 t.$$

Die in Klammern beigeetzten Zahlen sind für die Berechnung des Preises  $p$  zu nehmen, wenn angenommen werden kann, daß nach beendeter Gründung das Holz der Gerüste noch 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub> und die Maschinen usw. noch 33<sup>0</sup>/<sub>0</sub> des Neuwertes besitzen, die größeren Zahlen entsprechen dem Neuwert der Gerüste und Maschinen. Der Preis  $p$  ist Selbstkostenpreis, also ohne Zuschlag für Unternehmernergewinn.

Nach diesen Formeln ergibt sich beispielsweise für 3 Pfeiler auf je 2 gemauerten runden Brunnen von 4,0 m Durchmesser mit hölzernen Brunnenkränzen zu 120 Mk./cbm, einem Abstand der Brunnen von 1,0 m, einer Gründungstiefe  $t = 7$  m, einer Versenkungstiefe  $t_2 = 5$  m und einem Preis für das Mauerwerk  $\beta = 50$  Mk./cbm, wenn die Pfeiler nacheinander hergestellt, also nur ein Gerüst erforderlich,  $a = 1$  ist, und wenn die Gerüste und Maschinen noch wieder verwendbar sind:

$$p = \frac{2 \cdot \pi \cdot 4,0}{\left(5,0 \cdot 4,0 + \frac{\pi \cdot 4,0^2}{4}\right) 7,0} \left[ 0,15 \cdot 120 + \frac{66}{2 \cdot 3} + \frac{240 \cdot 1 + 18 (3 - 1)}{3} \right] + 1,03 \cdot 50 + \frac{5,0}{7,0}$$

$$[6,5 + (2 \cdot 7,0 - 5,0) 0,8]$$

$$p = 0,11 [18 + 11 + 92] + 51,5 + 9,8$$

$$p = 2,0 + 1,2 + 10,1 + 51,5 + 9,8$$

$$p = 74,6 \text{ Mk./cbm.}$$

Die Kosten für Brunnenkränze und Mauerwerk betragen hiernach  $2,0 + 51,5 = 53,5$  Mk. und die Kosten für Maschinen, Gerüste und Erdarbeiten, also die eigentlichen Versenkungskosten  $1,2 + 10,1 + 9,8 = 21,2$  Mk./cbm.

Diese Formeln sind auch brauchbar, wenn statt der gemauerten Senkbrunnen solche aus Beton oder Eisen-

beton zur Anwendung kommen sollen; der Preis  $\beta$  für 1 cbm Mauerwerk, der übrigens auch nach den örtlichen Verhältnissen verschieden ist, ist dann nur zu ersetzen durch die Einheitspreise für 1 cbm Beton oder Eisenbeton.

Bei der Luftdruck- und Gefriergründung fallen namentlich die hohen Anschaffungskosten der erforderlichen Maschinen und sonstigen Vorrichtungen, besonders bei kleineren Ausführungen ins Gewicht, während diese einmaligen Ausgaben bei größeren Tiefen und bei umfangreicheren Gründungsarbeiten und bei der Möglichkeit wiederholter Verwendung derselben Einrichtungen sich verteilen und somit der Einheitspreis für 1 cbm des ausgeführten Fundamentes verringert wird. Diese beiden Gründungsarten weichen also in der Beziehung von allen andern ab, als der Preis für 1 cbm Fundamentkörper mit der Gründungstiefe sich vermindert.

Für die Kosten von Gefriergründungen bei Brückenpfeilern liegen noch keine zuverlässigen Erfahrungen vor, dagegen hat für Luftdruckgründungen Brennecke eine ähnliche Formel wie für die Senkbrunnen ermittelt. Diese lautet für eiserne Senkkasten:

$$p = \frac{P \cdot \gamma}{G \cdot t} + \frac{t_2 [12 + (2t - t_2) 0,4] + 20h}{t} + \frac{200 + (340 + 6t) d + 272a + 18n}{n \cdot t} + 50.$$

(132)      (226)      (4)      (222)

Hierin haben  $p$ ,  $t$ ,  $t_2$ ,  $n$  und  $a$  dieselbe Bedeutung wie bei den Senkbrunnen,  $P$  ist das Gewicht des eisernen Senkkasten,  $\gamma$  der Preis für 1  $t$  Walzeisen des fertigen Senkkastens,  $G$  die Grundfläche des Senkkastens in qm,  $h$  die Höhe der Arbeitskammer in m,  $d$  die Anzahl der Senkkasten, die gleichzeitig mit ver-

dichteter Luft gespeist werden sollen, weswegen die Zahl maßgebend ist für die Größe der Luftpumpen. Das Gewicht  $P$  eines Senkkastens, der mit Beton überschüttet werden soll, ergibt sich bei einer Beanspruchung des Eisens von 1000 kg/qcm zu  $P = 285 U + 85 G + 1,54 G (b + 2)^2$ : worin  $U$  Umfang,  $G$  Grundfläche und  $b$  Breite des Senkkastens, alle Maße in m, qm und kg.

Bei der Formel ist angenommen, daß die Senkkasten an Ketten von schwimmenden oder festen Gerüsten aus auf den Grund gesenkt werden, bei Luftdruckgründungen auf dem Trockenen fallen die Kosten für die Senkkast-

ketten  $\frac{200}{n t}$  usw. fort, und diejenigen für die Gerüste

vermindern sich, weil dann nur ein Kran zum Abheben der Schleusen und Schachtrohre notwendig ist,

von  $\frac{(222) 272 + 18 n}{n t}$  auf nur  $\frac{(27) 40}{n t}$ . In dem Glied

$\frac{t_2}{t} [12 + (2t - t_2) 0,4]$ , welches die Kosten der Erdarbeit ausdrückt, wird  $t_2 = t$ , und die Formel lautet dann

$$p = \frac{P \cdot \gamma}{G \cdot t} + 12 + 0,4 t + \frac{20 h}{t} + \frac{(226) (4) (27) (340 + 6 t) d + 40}{n \cdot t} + 50.$$

Die Formeln haben nur Gültigkeit bis  $t = 20$  m. Darüber hinaus sind in dem Glied für die Erdarbeitskosten der Anfangspreis von 12 Mk., dem wieder ein Lohnsatz von 0,35 Mk. für 1 Stunde zugrunde liegt, sowie der Tiefenzuschlag von 0,4 und ebenso in dem Glied  $\frac{20 h}{t}$ , welches die Kosten für das Ausmauern der Arbeitskammer in verdichteter Luft angibt, der Einheits-

preis von 20 Mk. zu vergrößern, weil bei bedeutenderen Tiefen diese Arbeiten sich unverhältnismäßig verteuern.

Zur Beurteilung der Kosten verschiedener Gründungsarten können die Kosten ausgeführter Gründungen dienen, indes sind alle derartigen statistischen Angaben nur mit Vorsicht zu benutzen und zur Vorausschätzung nur dann zu verwerten, wenn die Verhältnisse der in Vergleich gezogenen Fälle örtlich und zeitlich annähernd gleich sind. Statistische Durchschnittsangaben aus einer größeren Zahl von Beispielen sind immerhin geeignet, einen Anhalt zur allgemeinen Wertschätzung verschiedener Methoden zu geben, aber weniger, um daraus für einen bestimmten Fall das Zweckmäßigste erkennen zu lassen. Brennecke hat für 20 zweigleisige Eisenbahnbrücken, also mit möglichst gleich großen Fundamenten, die Kosten für vier verschiedene Gründungsarten der Stropfpfeiler zusammengestellt und daraus folgende Durchschnittspreise  $p$  für 1 cbm des Fundamentes  $G \cdot t$  ermittelt:

1. Gründungen auf Beton zwischen Spund- oder Pfahlwänden;  $t = 3,5$  bis  $8,6$ , i. M.  $6,0$  m,  $p = 100$  bis  $150$ , i. M.  $116$  M.

2. Gründungen auf Beton und Pfahlrost zwischen Spundwänden:  $t = 4,9$  bis  $10,0$ , i. M.  $7,2$  m,  $p = 82$  bis  $159$ , i. M.  $121$  M.

3. Gründungen auf Senkbrunnen:  $t = 5,4$  bis  $7,5$ , i. M.  $6,7$  m,  $p = 44$  bis  $112$ , i. M.  $87$  M.

4. Luftdruckgründungen:  $t = 12,2$  bis  $15,7$ , i. M.  $13,6$  m,  $p = 81$  bis  $145$ , i. M.  $106$  M.

Als Fundamentkörper ist hierbei gerechnet bei 3. und 4. die Grundfläche  $G$  der Brunnen oder Senkkasten, welche zu 1 Pfeilerfundament gehören, multipliziert mit dem Abstand  $t$  der Grundfläche vom niedrigsten Wasser-

spiegel, und bei 1. und 2. die Grundfläche des Pfeilermauerwerks  $G$ , weil die Betonsohle der Ausführbarkeit wegen meistens größer genommen wird, als es die Tragfähigkeit des Bodens erfordert, multipliziert mit einer Tiefe  $t$ , welche bei Betonfundamenten ohne Pfahlrost als Abstand der Betonsohle vom niedrigsten Wasser  $+1$  m und bei Betonfundamenten mit Pfahlrost als Abstand der Betonsohle vom niedrigsten Wasserspiegel  $+2/3$  der Rostpfahlänge von Betonsohle bis Pfahlspitze gerechnet ist. Durch diese Zuschläge soll der Nutzen der Spundwände und Grundpfähle mit berücksichtigt werden, so daß alle 4 Gründungsarten als gleichwertig in betreff der Sicherheit anzusehen sind. Aus den so errechneten Durchschnittspreisen für 1 cbm Fundament ergibt sich, daß die Gründung auf Senkbrunnen und selbst die Luftdruckgründung sich billiger stellen, als die Gründungen auf Beton; aber die Unterschiede von 50 bis 150<sup>0</sup>/<sub>0</sub> zwischen den angegebenen kleinsten und größten Einheitskosten weisen doch auf die große Abhängigkeit der Gründungskosten von den örtlichen Verhältnissen, der Gründungstiefe und den Schwierigkeiten in den Wasser- und Bodenverhältnissen hin, so daß die ermittelten Durchschnittspreise nur einen bedingten Wert haben. Sie können sich außerdem durch veränderte Baustoffpreise und Lohnsätze verschieben. Will man sicher gehen und vor Überraschungen geschützt sein, so müssen bei der Wahl einer Gründungsart neben den technischen Erwägungen die Kostenberechnungen auf Grund der Massenberechnungen und der für die Preisanalyse notwendigen Grundgrößen nach den oben angegebenen Regeln durchgeführt werden.

---



## Register.

- A**bsenkung 81, 97.  
Abtreppungen 19, 26, 49.  
Arbeitskammer 46, 85.  
Auflager 17.  
Auftrieb 19, 45, 54.  
Ausfüllung 84, 100.
- B**agger 31.  
Baugrube 30.  
Baugrund 8.  
Beanspruchungen, zulässige 14, 17, 19.  
Betonkasten 57, 61.  
Betonpfähle 29, 58, 61.  
Betonsäcke 58.  
Betonsohle 26, 49, 84, 100.  
Betontrichter 56.  
Betonzylinder 48.  
Bodenuntersuchungen 7, 30.  
Bodenverdichtung 26, 47.  
Bohlenbelag 51, 59.  
Bohlwände 30, 36.  
Böschungswinkel 53.  
Brunnenkranz 73.  
Bundpfähle 34.
- D**ichtungen 35, 38.  
Druckfigur 21, 50.  
Dulac-Bauweise 48.
- E**isenpfähle 58, 69.  
Erdbogen 52.  
Erdböhrer 8.
- F**angedamm 28, 32, 36, 39, 60.  
Fels 9, 13.  
Flachgründung 26.
- Frostgrenze 25.  
Frostkegel 104.  
Füllboden 37.  
Fundamente, aufgelöste 28.  
Fundamente, verbreiterte 49.
- G**efriergründung 27, 103, 110.  
Gewölbe 26, 52.  
Grundpfähle 59.  
Gründungskosten 112.  
Gründungstiefe 15, 25.  
Grundwassersenkung 42.
- H**olzisenbetonpfähle 65.  
Holzpfähle 28, 59.
- K**antenpressung 22.  
Kernpunkte 23.  
Kies 10, 49, 52, 56.  
Kiesfilter 43.  
Knickfestigkeit 65.
- L**ehm 11.  
Luftdruckgründung 27, 46, 84, 109.  
Luftpumpe 96.  
Luftschleuse 87, 99.
- M**auerbankette 49.  
Mittelkraft 20, 24.  
Moor 12, 46, 68, 73.  
Mutterboden 12.
- N**ormalkraft 20.  
Nulllinie 21.
- P**fahlbelastung 67.  
Pfahlring 34, 59.
- Pfahlrost 26, 58, 108.  
Pfahlschuh 34, 59.  
Pfahlwände 28, 35, 39, 55, 111.  
Pfeiler 18.  
Probelastung 14.  
Pumpen 39, 42, 46.
- Q**uellen 40, 45.
- R**ammen 34, 59, 62, 68.  
Reibungsziffer 16, 18, 20, 53.  
Röhrenbrunnen 42.  
Röhrenpfeiler 86.  
Rostschwellen 51, 59.
- S**and 10, 48, 54.  
Sandschüttung 26, 53, 108.  
Sandzylinder 48.  
Scheibenpfähle 70.  
Schlaghaube 64.  
Schlamm 12, 46, 56, 68, 73.  
Schotter 47, 52, 56, 72.  
Schraubenpfähle 69.  
Schubkraft 20.  
Schüttbeton 41, 56, 61.  
Schwellrost 26, 51.  
Schwimmpfeiler 71.  
Segeltuch 35.  
Senkbrunnen 27, 42, 72, 109.  
Senkbrunnen, eiserne 78, 87.  
Senkbrunnen, gemauerte 73, 88.  
Senkbrunnen, hölzerne 80, 90.  
Senkkasten 26, 39, 71, 80.

Senkkasten, eiserne 86.	Spundwände aus Eisen 35.	Taucherglocke 101.
Senkkasten, gemauerte 88.	Spundwände aus Eisenbeton 36.	Tiefgründung 26.
Senkkasten, hölzerne 90.	Spundwände aus Holz 32.	Ton 11, 67.
Senkröhren 86.	Steinbettung 112.	Torf 12.
Sicherheit 14.	Steinschüttung 26, 51, 66, 111.	Tragfähigkeit 13, 15.
Sickerleitung 40.	Stülpwände 31, 37.	<b>Verankerung</b> 53.
Spitzpfähle 70.		<b>Wasserzufluß</b> 40.
Spundwände 32, 39, 51, 55, 60, 111.		Widerstandsmoment 22, 50.





**Vereinigung wissenschaftlicher Verleger**  
**Walter de Gruyter & Co.**

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung / J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung / Georg Reimer / Karl J. Trübner / Veit & Comp.  
**Berlin W. 10 und Leipzig**

In der **Sammlung Göschen** sind  
ferner erschienen:

### **Erdbau**

von Regierungs-Baumeister Erwin Link  
(Nr. 630)

### **Die Kostenberechnung im Ingenieurbau**

von Prof. E. Kuhlmann u. Dr.-Ing. H. Nitzsche  
(Nr. 750)

### **Die Baustoffkunde**

von Prof. H. Haberstroh  
(Nr. 506)

### **Der Eisenbetonbau**

von Regierungs-Baumeister Karl Rößle  
(Nr. 349)

### **Die allgemeinen Grundlagen des Brückenbaus**

von Geh. Baurat Prof. Dr.-Ing. Th. Landsberg  
(Nr. 687)

### **Eisenbetonbrücken**

von Dr.-Ing. K. W. Schaechterle  
(Nr. 627)



**Vereinigung wissenschaftlicher Verleger**  
**Walter de Gruyter & Co.**

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung / J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung / Georg Reimer / Karl J. Trübner / Veit & Comp.  
Berlin W. 10 und Leipzig

In der **Sammlung Göschen** sind  
ferner erschienen:

# Statik

von

Dipl.-Ing. Prof. W. Hauber

I.

**Die Grundlehren der Statik**  
**starrer Körper**

Mit 82 Fig.

II.

**Angewandte Statik**

Mit 61 Fig.

(Sammlung Göschen Nr. 178. 179)

---

# Festigkeitslehre

von

Dipl.-Ing. Prof. W. Hauber

(Sammlung Göschen Nr. 288)







Biblioteka Politechniki Krakowskiej



I-301466



ZSI ZSI ZSI ZSI ZSI

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000295790

ZSI ZSI ZSI