

CENTRALNA BIBLIOTEKA  
12530  
POLITECHNIKI GDAŃSKIEJ

*rs Fachbücher für  
Hoch- und Tiefbau*

SCHULZE

# GRUNDBAU



*Leipzig / B.G. Teubner / Berlin*

SCHÜLZE · GRUNDBAU

9318

Wojewódzki Związek Książek  
Krajoznawczych i Turystycznych

WZK ZWIĄZU:

2 MAJ 1953

3. STY. 1956

B 9678. IX 6 32.

TEUBNERS FACHBÜCHER  
FÜR HOCH- UND TIEFBAU

---

GRUNDBAU.

Neubearbeitet von

OBERBAURAT W. E. SCHULZE

Direktor der Bau- und Ingenieurschule  
der Hansestadt Bremen

SIEBENTE AUFLAGE

Mit 205 Abbildungen

EIGENTUM  
DER STAATSBUSCHULE  
FÜR HOCH- UND TIEFBAU  
IN GÖRLITZ



1943

LEIPZIG UND BERLIN  
VERLAG UND DRUCK VON B. G. TEUBNER

Best.-Nr. 9318

12530

II 12530



4812/D/G/51

## Vorwort

Als Prof. Benzel, der im Herbst vorigen Jahres verstorben ist, die Leitfäden „Gründungen von Hochbauten“ (1909) und „Grundbau“ (1914) verfaßte, stellte er erstmalig alles Wichtige dieser Gebiete zusammen und erwarb sich so ein bleibendes Verdienst nicht nur um die Ausbildung der Studierenden des Baufaches, sondern er gab damit auch den jungen Praktikern Leitfäden in die Hand, die ihnen von größtem Nutzen auf Büro und Baustelle waren.

Die Bücher haben im Laufe der Jahre naturgemäß manche Wandlung entsprechend dem Fortschritt der Technik erfahren. Das Fachgebiet des Grundbaus ist immer mehr angewachsen, so daß Bauweisen, die früher bevorzugt waren, heute aber meistens durch andere ersetzt sind, fortgelassen, zumindest aber gekürzt werden mußten. So ist auch die vorliegende 7. Auflage gegenüber der vorhergehenden vollkommen neu überarbeitet und teilweise stark geändert worden. In dem Abschnitt „Baugrund“ sind mehrere Verfahren zur Verbesserung der Tragfähigkeit des Baugrundes neu behandelt. In dem Abschnitt „Baugrube“ ist der Stollenbau, da er als Sondergebiet anzusprechen ist, gekürzt worden, andererseits ist die Aussteifung von Baugruben eingehender behandelt und die neue Bauweise der Zellenfangedämme eingefügt worden. Die Verfahren für die Abdichtung der Baugrubensohle sind in diesem Abschnitt nicht so eingehend wie bisher beschrieben, da es sich meistens um die Herstellung der untersten Teile der Bauwerke handelt, so daß ihre eingehende Behandlung in den Abschnitt „Grundbauten“ verlegt worden ist. In diesem Abschnitt wurde die Brunnen Gründung stark gekürzt, dagegen die Pfahlgründung, insbesondere die Ortpfähle ausführlicher behandelt, da letztere außerordentlich an Wichtigkeit zugenommen haben. Auch der Druckluftgründung wurde ein breiterer Raum eingeräumt. In einem Sonderabschnitt „Schutz und Abdichtung der Grundbauten“ wurden alle Verfahren, um Grundbauten gegen baustoffschädliche Einflüsse und Hohlräume gegen Wasser abzudichten, zusammengefaßt, wobei allerdings betr. stoffkundlicher Fragen nur auf das einschlägige Schrifttum verwiesen werden konnte. Gleichfalls in einem Sonderabschnitt ist die „Sicherung gefährdeter Bauten“ zusammen behandelt. Hier ist die Sicherung von Bauwerken gegen Erschütterungen neu eingefügt worden.

Der Inhalt des Buches kann selbstverständlich so wie bisher nur ein Auszug aus dem großen Gebiet des Grundbaus sein, der versucht, das allgemein Wichtigste zu bringen. Sonderbauweisen, die nur in einzelnen Gegenden eingeführt sind, mußten mit Rücksicht auf den Umfang gekürzt oder fortgelassen werden.

Für die weitgehende Unterstützung, die dem Verfasser zuteil geworden ist, wird allen Behörden, Firmen und Amtskameraden besonderer Dank gesagt.

Hinweise auf Fehler und Vorschläge für Verbesserungen werden vom Verfasser jederzeit gern und mit Dank entgegengenommen.

Bremen, im Dezember 1942.

W. E. Schulze.

## Inhaltsverzeichnis

### A. Baugrund

I. Bodenarten .....	1
a) Bodenuntersuchungen .....	1
b) Bodenarten .....	2
II. Feststellen der Art und Schichtung des Baugrundes .....	4
a) Vorschriften und Anordnung der Bodenuntersuchungen .....	4
b) Bodenproben und Schichtenverzeichnisse .....	5
c) Schürfe .....	6
d) Bohrungen .....	7
1. Bohrer .....	7
2. Bohrgestänge .....	9
3. Bohrrohre .....	10
III. Ermitteln der Tragfähigkeit des Baugrundes .....	11
a) Unmittelbare (statische) Probelastung des Baugrundes .....	11
b) Erdstoffphysikalische Baugrunduntersuchung .....	13
c) Dynamische Baugrunduntersuchung .....	14
d) Tragfähigkeit von Pfählen .....	14
1. Probelastung von Pfählen .....	14
2. Rechnerische Ermittlung der Tragfähigkeit von Pfählen .....	17
IV. Zulässige Belastung des Baugrundes .....	17
a) Zulässige Bodenbeanspruchung .....	17
b) Zulässige Pfahlbelastung .....	18
V. Verbessern der Tragfähigkeit des Baugrundes .....	19
a) Rütteldruckverfahren .....	19
b) Bodenverdichtungspfähle .....	20
c) Bodenverfestigung .....	20

### B. Baugrube

I. Im Trocknen .....	21
a) Abböscheln der Baugrubenwände .....	21
b) Verschalen der Baugrubenwände .....	21
1. Waagerechter Verbau .....	22
2. Lotrechter Verbau .....	28
c) Stollenbau .....	30
II. Im Grundwasser .....	32
a) Stülpwände .....	33
b) Holzspundwände .....	33
c) Einrammen der Spundwände .....	35
d) Stahlbetonspundwände .....	39
e) Stahlspundwände .....	40
f) Aussteifen der Spundwandbaugruben .....	42

III. Im offenen Wasser .....	44
a) Spundwandumschließungen, ihre Absteifung und Abdichtung .....	44
b) Fangedämme .....	46
c) Unterwasser-Arbeitskasten .....	50
IV. Wasserhaltung .....	50
a) Offene Wasserhaltung .....	50
b) Grundwasserabsenkung .....	52
1. Ausführung der Grundwasserabsenkung .....	52
2. Vorentwurf der Grundwasserabsenkung .....	54
3. Berechnung der Grundwasserabsenkung .....	55
c) Abdichten der Baugrubensohle .....	59
1. Abdichten durch Beton .....	59
2. Abdichten durch chemische Verfestigung (Versteinerung) .....	60
V. Taucherarbeiten .....	61
 <b>C. Grundbauten</b>	
I. Flachgründung .....	63
a) Sockelgründung .....	63
b) Plattengründung .....	64
c) Grundgewölbe .....	68
d) Sand-, Kies- und Steinschüttung .....	68
e) Gründung zwischen Spundwänden .....	69
1. Unter Wasserhaltung .....	69
2. Unterwasserbeton .....	70
II. Tiefgründung .....	75
a) Grundpfeiler .....	75
b) Senkbrunnen .....	75
1. Form, Größe und Abstand der Senkbrunnen .....	76
2. Bauart der Senkbrunnen .....	77
3. Versenken der Brunnen .....	78
4. Ausfüllen und Verbinden der Brunnen .....	79
c) Pfahlgründung .....	83
1. Fertigpfähle .....	83
2. Ortpfähle .....	87
3. Der Pfahlrost .....	95
d) Druckluftgründung .....	105
1. Senkkastengründung .....	105
2. Taucherglockengründung .....	110
e) Gründung auf Schwimmkasten .....	111
III. Schutz und Abdichtung der Grundbauten .....	112
a) Übersicht über die Schutz- und Abdichtungsverfahren .....	112
b) Abdichten des Betons durch Schutzschichtbildung .....	114
1. Fluat- und Silikate .....	114
2. Filmbildende Schutzanstriche (Kalt- und Heißaufstriche) .....	114



c) Ummantelung des Bauwerks .....	115
1. Ummanteln mit Lehm und Ton .....	115
2. Widerstandsfähiger Putz und Vorsatzbeton .....	115
3. Klinkerverblendung .....	116
4. Dichtungsbahnen .....	116
5. Spachtelmassen .....	118
6. Gußasphalt .....	119
d) Bauliche Ausführung der Abdichtungen .....	119
1. Dichtungsaufstriche .....	119
2. Dichtungsbahnen .....	120
3. Spachtelmassen .....	121
4. Gußasphalt .....	122
5. Abdichten von Fugen .....	123
<b>D. Sicherung von gefährdeten Bauten</b>	
a) Sicherung durch Baugruben gefährdeter Bauten .....	124
1. Sichern durch neue Flachgründung .....	124
2. Sichern durch neue Tiefgründung .....	126
3. Sichern durch Bodenverfestigung .....	128
b) Sicherung durch Bergbausenkungen gefährdeter Bauten .....	129
c) Sicherung durch Unterspülung gefährdeter Bauten .....	132
d) Sicherung von Bauwerken gegen Erschütterungen .....	133
1. Sichern gegen Verkehrserschütterungen .....	133
2. Abdämmen von Erschütterungen infolge Maschinenbetriebes .....	137
Schrifttumsverzeichnis .....	138
Sachverzeichnis .....	139

# A. Baugrund

## I. Bodenarten

### a) Bodenuntersuchungen

Bevor mit der Planbearbeitung eines Baues begonnen wird, müssen einwandfreie Untersuchungen über den Baugrund und die Grundwasserverhältnisse auf der Baustelle durchgeführt sein. Jede Unterlassung in dieser Hinsicht bedeutet eine leichtfertige Sparsamkeit, die sich meist sehr empfindlich durch Erhöhung der Baukosten oder nachträgliche Beseitigung von Schäden rächt.<sup>1)</sup>

Die Bodenuntersuchungen haben folgende Aufgaben:

1. Untersuchung des Baugrundes bezüglich seiner zulässigen Beanspruchung.
2. Ermittlung der zu erwartenden Setzungen und deren zeitlichen Verlaufs.
3. Feststellung der Grundwasserverhältnisse.
4. Untersuchung von Baugrund und Grundwasser mit Rücksicht auf baustoffschädliche Bestandteile.

Der Umfang der Untersuchungen richtet sich nach Größe und Zweck des Bauwerks, hängt ab von der Beschaffenheit des Bodens und der Zahl der bereits früher gemachten zuverlässigen Untersuchungen und Beobachtungen für dicht benachbarte Bauten. Es sind auszuführen bei ganz einfachen Bauten mindestens Sondierungen, in allen anderen Fällen wenigstens Schürfungen, besser jedoch Probebohrungen und Probebelastungen oder erdstoffphysikalische oder dynamische Baugrunduntersuchungen.

Die Auswertung dieser Untersuchungen (mit Ausnahme der Sondierungen) erfolgt zweckmäßig bei allen wichtigen Bauvorhaben und unsicherem Boden durch anerkannte Versuchsanstalten und anerkannte Fachleute für Baugrundfragen. Als solche gelten (DIN 1054):

1. Deutsche Forschungsanstalt für Bodenmechanik (Degebo), Berlin-Charlottenburg 2, Hardenbergstr. 35 (Techn. Hochschule).
2. Preußische Versuchsanstalt für Wasser-, Erd- und Schiffbau in Berlin NW 87 (Schleuseninsel).
3. Hannoversche Versuchsanstalt für Grundbau und Wasserbau an der Techn. Hochschule in Hannover.
4. Erdbauinstitut der Techn. Hochschule in Dresden.
5. Erdbauinstitut der Techn. Hochschule in München.
6. Erdbaulaboratorium an der Techn. Hochschule in Wien.
7. Brückenbauamt in Hamburg, Flottbeker Chaussee 92.
8. Baugrund G. m. b. H. in Berlin-Dahlem, Kronprinzenallee 32a.
9. Prof. Dr.-Ing. Casagrande in Berlin-Steglitz.
10. Prof. Dr.-Ing. Loos in Berlin-Dahlem.
11. Dr.-Ing. habil. Scheidig in Naumburg/Saale.
12. Dr.-Ing. Erlenbach in Königsberg i. Pr.
13. Dr.-Ing. Lohmeyer, Ministerialrat a. D. in Berlin-Steglitz.

1) Richtlinien für bautechnische Bodenuntersuchungen, Deutscher Ausschluß für Baugrundforschung.

## b) Bodenarten

Von der Art des Bodens hängt seine Zusammenpressung durch das Bauwerk ab, die um so stärker ausfällt, je geringer seine Zug- und Schubfestigkeit ist, die den umgebenden Boden zur Mitwirkung am Gegendruck zwingt, und je mehr sich sein ursprünglicher Porengehalt durch äußeren Druck verringern läßt, wobei etwaiges Porenwasser in entsprechender Menge ausgepreßt wird.

Fels, gut zug- und schubfest und von geringfügigem Porengehalt, ist daher der beste Baugrund. Doch ist er bis auf das blanke Gestein von verwittertem freizuräumen. Klüfte (häufig in Kalkstein), wenn nicht offen, durch Aufstoßen einer Brechstange am hohlen Ton zu erkennen, sind mit Beton auszufüllen.

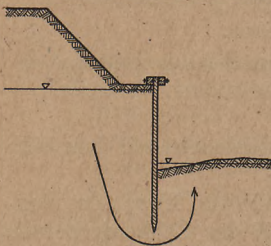


Bild 1.  
Ausgleich der Wasserspiegel  
beim Ausspumpen der Baugrube

Körniger Boden, Kies, Sand, nicht zugfest, etwas schubfest nur in tieferen Lagen infolge der mit der Überlagerungshöhe zunehmenden Kornreibung, wird entsprechend seinen verhältnismäßig groben Poren merkbar, doch im allgemeinen nicht überstark zusammengepreßt, womit zugleich das überschüssige Wasser aus den Poren entweicht. Er gilt als guter Baugrund.

Auch feinerer Sand, wie Feinsand (0,2...0,1 mm), Mehlsand (0,1...0,02 mm) und Schluff (0,02...0,002 mm) ist in einiger Tiefe wenn auch nur gering, jedoch oft noch ausreichend tragfähig, doch darf er nie durch Ausspumpen der Baugrube einem einseitigen Wasserdruck von unten (Bild 1) ausgesetzt werden, weil er sonst aufgetrieben und zum „Schwimmsand“ wird, der als Baugrund untauglich ist.

Ton besteht aus feinsten biegsamen Schüppchen (< 0,002 mm) und hat überaus feine Poren, saugt, wenn auch langsam, Wasser auf, quillt und wird weich.

Lehm (Ton mit 30...70 % Sand) wird infolge seines Sandgehalts zwar nicht ganz so weich durch Wasseraufnahme, erleichtert und beschleunigt aber diese durch die größeren Poren des Sandes.

Im Hinblick hierauf ist bindiger Boden (Ton, Lehm) vor Wasserzutritt soweit wie möglich zu sichern, so durch Umschließen mit Spundwänden, durch Abfangen des Tagewassers und etwaigen Sickerwassers in Gerinnen und Sickerleitungen, erforderlichenfalls noch durch Entsickern (Dränieren) der Bausohle.

Ton, in geringerem Maß Lehm, hat in trockenem und mäßig feuchtem Zustand, solange sein Porenwasser infolge der Haarröhrchenanziehung noch Oberflächenspannung besitzt, noch eine, im Vergleich mit Fels zwar nur geringe Zug- und Schubfestigkeit und wird durch die Baulast nicht überstark zusammengepreßt. Von Wasser überflutet, verliert er jedoch die Oberflächenspannung seines Porenwassers und gibt unter dem Bauwerk sehr stark nach, wird mit sehr großem Wassergehalt zähflüssig und nähert sich dem Schlamm.

Besonders bedenklich als Baugrund ist wasserhaltiger bindiger Boden dadurch, daß unter der Baulast das Wasser aus den feinen Poren nur sehr langsam entweicht, so daß das Setzen eines Baues über Ton- oder Lehmschichten noch auf lange Zeit, oft noch auf Jahre hinaus zu gewährleisten ist.

Mergel, dessen Kalkgehalt die anscheinend die Wasseraufnahme besonders fördernden Kolloide des Tongehalts ausgefällt hat, ist als fester trockener Kalkmergel ein recht guter Baugrund.

Löß, ein Feinsand-Schluff-Gemenge von wurzelschwammigem Gefüge, meist hohem Wassergehalt und beträchtlichem Kalkgehalt, ist nach Scheidig<sup>1)</sup> nur in trockenem oder wenig feuchtem Zustand noch als mittlerer Baugrund anzusprechen.

Schlechter Baugrund sind

stark wasserhaltiger Ton, Lehm, Löß (Porenwasser entspannt),

Boden mit über 2% organischen Bestandteilen (z. B. Kohlenstoff), der nach dem eigentlichen Setzen noch beträchtlich nachfließt,

Schlick, Moorerde, Faulschlamm, Torf, Mutterboden.

Nicht gewachsener Boden ist je nach Lagerzeit und Dichte schlechter bis mäßiger Baugrund.

Die Schichtung des Bodens ist insofern von Bedeutung, als Schichten wenig preßbaren, an sich genügend tragfähigen Bodens über stärker nachgebenden Schichten eine solche Mächtigkeit haben müssen, daß sich der Druck der Baulast in der oberen Schicht bis auf die Unterschicht deren geringeren Tragfähigkeit entsprechend weit ausbreiten kann und sie nicht mehr zusammenpreßt.

Ferner darf die Neigung der Lagerfläche der den Bau tragenden Bodenschicht, besonders über einer Ton- oder Lehmschicht, die durch Sickerwasser schlüpfrig werden kann, aber auch über glattem Fels, nicht so groß sein, daß ein Abrutschen der Schicht zu befürchten ist, zumal wenn diese talwärts durch eine Verwerfung oder künstlich durch einen Einschnitt unterbrochen ist (Bild 2).

Jedenfalls sind bei wechselnden Schichten von körnigem und bindigem Boden die Grundbauten durch schwache Schichten bis auf eine starke Schicht hinabzuführen, um Durchbrüchen der schwachen Schichten und, falls die Schichtung nicht waagrecht ist oder die angreifende Mittelkraft nicht achsrecht wirkt, Rutschungen zwischen Sand- und Tonschicht tunlichst zu begegnen. Besteht die Möglichkeit, daß Wasser durch die Sandschichten zum Ton gelangen und ihn aufweichen kann, so ist hiergegen der Baugrund, wie oben (S. 2) angegeben, zu sichern.

Besonders bedenklich ist es, wenn der Baugrund unter ein und demselben Bauwerk nach Bodenart, Schichtenstärke oder -neigung wechselt, weil dann ein ungleichmäßiges Setzen, ein Kippen, Risse, selbst ein Einsturz des Baues zu befürchten sind.

Gefahren ganz besonderer Art drohen Bauten in Bergbaugebieten, wo Senkungen von 5...20 % der Gesamtmächtigkeit der übereinander abgebauten Flöze trotz Spülversatz eintreten können.

Enthält der Baugrund oder das Grundwasser baustoffschädliche Bestandteile, so sind Sicherungsmaßnahmen vorzusehen, die eine Zerstörung des Baues verhindern (s. Abschn. C, III).

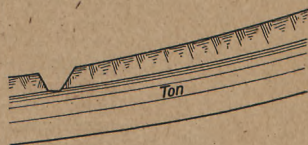


Bild 2. Geneigte Bodenschichtung mit Einschnitt

1) Die „Bautechnik“ 1933, S. 207.

## II. Feststellen der Art und Schichtung des Baugrundes

### a) Vorschriften und Anordnung der Bodenuntersuchungen

Für die Bodenuntersuchungen sind maßgebend DIN 4021, „Grundsätze für die Entnahme von Bodenproben“, DIN 4022, „Einheitliches Benennen der Bodenarten und Aufstellen der Schichtenverzeichnisse“, DIN 1054, „Richtlinien für die zu-

lässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen“. Außerdem hat der Deutsche Ausschuß für Baugrundforschung „Richtlinien für bautechnische Bodenuntersuchungen“ herausgegeben.

Die Feststellung der Art und Schichtung des Baugrundes erfolgt durch Schürfe oder Bohrungen. Bei ausgedehnten Bauten (Eisenbahnen, Straßen, Wasserkraftanlagen u. a.) sind außerdem die geologischen Karten (1:25 000)

zugrunde zu legen, und für geologische Untersuchungen ist die Reichsstelle für Bodenforschung mit ihren Zweigstellen zu Rate zu ziehen.

Die Anordnung der Schürf- und Bohrlöcher richtet sich nach der Größe und Form des Bauwerks und der Regelmäßigkeit des Baugrundes. Bei einer Baugrube gemäß Bild 3 wird man z. B. die Untersuchungen an den Stellen 1 beginnen und wird, falls diese eine Unregelmäßigkeit des Baugrundes zeigen, an den Stellen 2 fortfahren.

Die Schürf- oder Bohrtiefe soll, von der Gründungssohle ab gemessen, bei Einzelgründungskörpern das Dreifache der Sohlenbreite, mindestens aber 6,0 m, bei Bauwerken mit mehreren Gründungskörpern, deren Einfluß sich in tieferen Schichten überlagert (Bild 4) und bei Plattengründungen (Bild 3) das Eineinhalbfache der Bauwerksbreite betragen. Bei Pfahlgründungen ist die Pfahlspitze als Gründungssohle zu rechnen, jedoch kann hier die Bohrtiefe um etwa ein Drittel ermäßigt

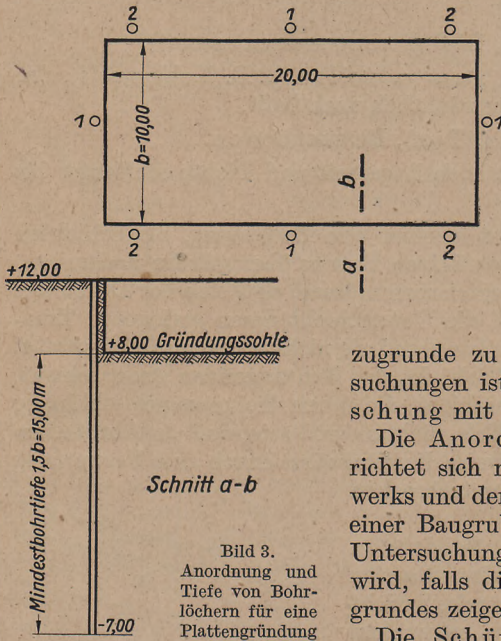


Bild 3.  
Anordnung und  
Tiefe von Bohr-  
löchern für eine  
Plattengründung



Bild 4.  
Überlagerung der Bodenbeanspruchung  
durch benachbarte Baukörper

werden. Jedenfalls sind die Untersuchungen immer so tief zu führen, daß alle Schichten, die Setzungen des Bauwerks verursachen können, erfaßt werden.

Die Schürf- oder Bohrpunkte werden eingemessen, in einen Lageplan, den Schürf- oder Bohrplan, eingetragen und benummert, ihre Höhen auf einen Festpunkt, möglichst auf N. N. eingewogen.

Schürfgruben und Bohrlöcher sind nach Abschluß der Untersuchung sorgfältig zu verfüllen. Falls ihre Lage nahe oder gar unter einem Bauteil nicht zu vermeiden war, ist hierbei Magerbeton zu verwenden, wobei vor allem darauf zu achten ist, daß keine Quellen unter dem Bauwerk entstehen.

### b) Bodenproben und Schichtenverzeichnisse

Den Schürfgruben oder Bohrlöchern werden Bodenproben bei jedem Wechsel der Bodenbeschaffenheit, mindestens aber von Meter zu Meter Tiefe entnommen und in frischem Zustand beurteilt, wonach öfters schon auf Grund der allgemein bekannten Eigenschaften der Bodenarten und der festgestellten Mächtigkeit und Neigung der Schichten einigermaßen auf die Tragfähigkeit des Baugrundes geschlossen werden kann.

Die Bodenproben sind sofort zur Aufbewahrung bis nach Abnahme des Baues (wenigstens 1 Jahr lang) in Holzkästen mit Fächern ( $\geq 7:7:7$  cm), Blechbüchsen oder Gläser ( $\geq 0,5$  l) zu füllen und die Behälter selbst (nicht die Deckel) wetterfest mit der Bezeichnung der Arbeitsstelle, der Nummer des Schürf- oder Bohrpunktes, der Tiefenlage der Probe und ihrer Bodenart nach Anlage 3 der DIN 4022 zu versehen.

In Übereinstimmung hiermit sind in die Schichtenverzeichnisse nach Anlage 1...3 der DIN 4022 die Tiefenlagen, Bodenarten, Grundwasserstände und sonst Bemerkenswertes einzutragen.

Die wichtige Frage, ob ein Boden Ton enthält, wird bei feinstkörnigem Sand, wie „Schluff“ (0,02...0,002 mm), der ähnlich dem Ton schon eine gewisse Bindigkeit besitzt, leicht dadurch gelöst, daß eine völlig ausgetrocknete Probe mit den Fingern zerdrückt wird, was bei Fehlen von Ton ganz leicht, mit zunehmendem Tongehalt immer schwerer gelingt. Von größerem Boden genügt es, die Probe in einem wassergefüllten Meßgläschen zu schütteln, wonach sich der Sand unten, der Ton oben in getrennten Schichten absetzen.

Bei unsicherem Boden, z. B. stark wasserhaltigem Ton oder Lehm, stark wechselnder Schichtung und wichtigen schwerbelasteten Bauwerken sind die Bodenproben in möglichst ungestörtem Zustande auszuheben (S. 6 und 8).

Zeigen die Bodenproben oder das aufgeschlossene Grundwasser verdächtige Merkmale, wie dunkle Färbung, Gips- oder andere Kristalle, fauligen Geruch, Aufsteigen von Gasblasen, Säuregehalt (an der Rötung blauen Lackmuspapiers leicht festzustellen), aber auch wenn schädliche chemische Bestandteile nur befürchtet werden, namentlich wenn es sich um eine wichtige Gründung in Beton handelt, so sind Boden- und Wasserproben zur chemischen Untersuchung einer amtlichen Untersuchungsstelle einzuschicken.

Die Untersuchungsstellen und die Bestimmungen über Umfang und Verpackung der Wasser- und Bodenproben sind in den „Richtlinien für die Ausführung von Bauwerken aus Beton im Moor, in Moorwässern und ähnlich zusammengesetzten Wässern“ vom November 1930<sup>1)</sup>, aufgestellt vom Arbeitsausschuß II (Moorausschuß) des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, angegeben.

Den Verdingungsunterlagen für umfangreichere Gründungen werden zweckmäßig der Schürf- oder Bohrplan und die zeichnerische Darstellung der Bohrergebnisse (Bild 5) beigegeben, jedoch keine Schichtenprofile, die aus der Ver-

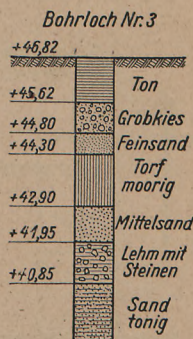


Bild 5.  
Zeichnerische Darstellung  
eines Bohrergebnisses

1) Verlag von Ernst & Sohn, Berlin.

bindung der Schichtenwechsel benachbarter Schürf- oder Bohrlöcher gewonnen werden, weil solche Profile häufig dem wirklichen Verlauf der Schichten nicht entsprechen.

### c) Schürfe

Der Boden wird in einer Schürfe unmittelbar an seiner Lagerstätte geprüft und der Wechsel der Bodenarten auf das genaueste festgestellt. Die Schürfruben (Bild 6) oder -schächte erhalten etwa  $2 \text{ m}^2$  Grundfläche, bei größerer Tiefe und nicht stehendem Boden müssen sie verzimmert werden. Sie sind besonders geeignet, um ungestörte Bodenproben zu entnehmen. Hierfür genügt eine untere Breite von rd.  $0,75 \text{ m}$ . Die Probe wird am besten aus einem Absatz, der etwa  $70 \text{ cm}$  über der Sohle liegt, entnommen. Dies geschieht bei bindigem Boden mit einer zylindrischen Büchse (Bild 7a), die  $15 \text{ cm}$  lichten Durchmesser und  $10$  oder  $20 \text{ cm}$  Höhe hat. Durch Schläge auf die Hartholzhaube wird sie in den Boden eingetrieben, wobei der Ansatzring verhindert, daß die Schlaghaube bei satter Füllung des Zylinders auf dem Boden aufsitzt. Nach Füllung wird die Büchse freigelegt und mittels einer Schaufel herausgehoben, wodurch hierbei die untere Öffnung verschlossen wird.

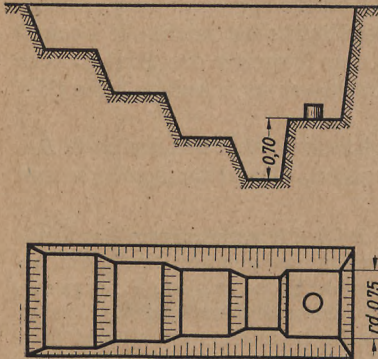


Bild 6. Schürfrube geringer Tiefe

Hierauf werden nach Abgleichung die obere und untere Seite mit Deckeln verschlossen, die mit Isolierband oder dergleichen verklebt werden.

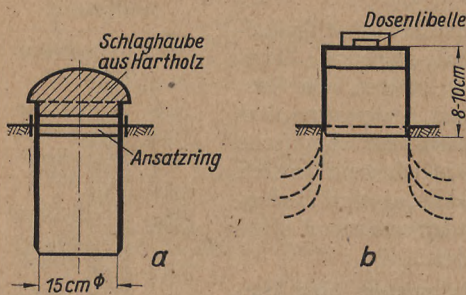


Bild 7.

Büchsen zur Entnahme von ungestörten Bodenproben  
a) bei bindigem Boden b) bei nichtbindigem Boden

Bei nicht-bindigem Boden wird ein Messingzylinder (Bild 7b) gebraucht, der nicht eingeschlagen, sondern nur leicht eingedrückt wird, um eine Zusammenpressung des Bodens zu verhüten. Damit die Büchse beim Eindringen nicht verkantet wird, hat sie oben eine Dosenlibelle. Ist der Widerstand beim Eindringen zu groß, ist bei langsamem Nachdrücken des Zylinders der Boden seitlich mit der Hand wegzuräumen. Das Herausnehmen und Verpacken der Büchse erfolgt in gleicher Weise wie bei bindigem Boden.<sup>1)</sup>

Da die Untersuchung der ungestörten Bodenproben stets in einer der im Abschnitt Ia genannten Versuchsanstalten erfolgen muß, sollten vorher die Entnahme- und Verpackungsvorschriften von der Versuchsanstalt eingeholt, bei besonders bedenklichen Bodenverhältnissen ein Wissenschaftler der Anstalt für die Aufsicht über die Entnahme und für die Prüfung der Bodenprobe in frischem Zustand angefordert werden.

1) Nach Dr. B. Tiedemann, Bodenuntersuchungen bei Entwurf und Ausführung von Ingenieurbauten, Bautechnik 1941, Heft 4 u. 5.

## d) Bohrungen

Zur Entnahme von Bodenproben dienen am häufigsten Bohrungen, weil sie sich schnell und sicher, verhältnismäßig billig und auf größte Tiefen ohne Behinderung durch Wasserandrang vornehmen lassen. Ihr Nachteil ist, daß die festere oder losere Lagerung und der Wassergehalt aus den geförderten Bodenproben nicht sicher beurteilt werden können.

Die Bohrlochweite soll mindestens 150 mm betragen, wenn nicht der Zweck der Untersuchung abweichende Weiten erfordert. Bei größeren Tiefen, immer jedoch bei losem Boden sind die Bohrungen zu verrohren. Die Bohrer selbst haben in den Bohrröhren einen Spielraum von 2,5...7,5 mm ringsum.

## 1. Bohrer

α) Die Drehbohrer für mittelfeste Bodenarten haben eine zylindrische, je nach der geringeren oder größeren Festigkeit des Bodens mehr geschlossene oder mehr offene Form mit Stahlschneiden. Sie werden in die Erde eingedreht und, sobald sie gefüllt sind, herausgezogen und ausgekratzt.

Tellerbohrer mit Glocke (Bild 8) zum Vorbohren in Mutterboden, Sand, sandigem Lehm zur Gewinnung eines allgemeinen Überblicks,  
 Rohrschappe (Bild 9) für Mischboden aus Sand und Lehm oder Ton, weicheren Lehm und Ton, Moor,  
 „Schappe“, offene oder Löffelschappe (Bild 10), für festen Lehm und Ton, Mergel.

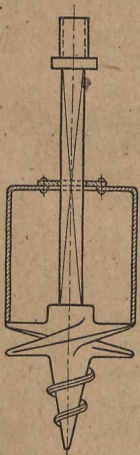


Bild 8.  
Tellerbohrer mit Glocke

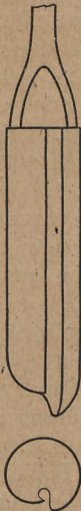


Bild 9. Rohrschappe

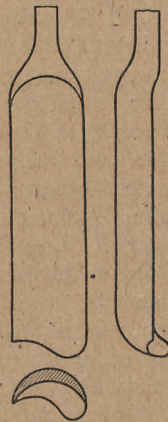


Bild 10. Schappe

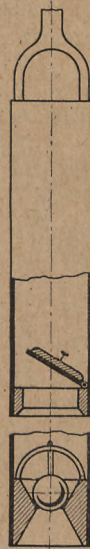


Bild 11. Stauchbohrer

Die Drehbohrer liefern die zuverlässigsten Bodenproben.

β) Die Stauchbohrer, auch Ventil-, Schlamm-, Schmandbüchsen genannt, für losen, wasserführenden Boden, besonders für Sand, Kies, haben ein Fußventil (Bild 11) und werden durch Aufstoßen gefüllt.



γ) Die Stoßbohrer, Bohrmeißel aus Edelstahl, für Gestein, werden in kurzen Stößen auf und ab bewegt und dabei etwas gedreht, um ein kreisrundes Bohrloch zu erhalten, in dem sich der Bohrer nicht festklemmen kann.



Bild 12.  
Z-Meißel

Flachmeißel, meist mit Ohrenschnelden (Bild 12), Kreuzmeißel (Bild 13) für schräg einfallendes, klüftiges oder ungleich hartes Gebirge, in dem der Flachmeißel leicht seitwärts vertrieben wird.

Die Festigkeit des Gesteins läßt sich aus dem Fortschritt des Bohrlochs beurteilen.

Damit sich der Stahl nicht zu sehr erhitzt, wird Wasser in das Bohrloch gegossen. Der Bohrschmand wird von Zeit zu Zeit mit einer Ventilbüchse (Bild 11) herausgeholt.

δ) Die Entnahmestutzen für ungestörte Proben bindigen Bodens werden in die Sohle des Bohrlochs bis zur satten Füllung eingedrückt oder leicht eingerammt und der eingedrungene Boden mit einer Stahldrahtschlinge, die in eine Nut mit etwas eingekittet ist und von oben zugezogen wird, unten abgeschnitten. Schwachbindiger Boden wie sandiger Lehm erfordert den Anschluß des Stutzens mittels eines Kopfes nach A. Casagrande (Bild 14)

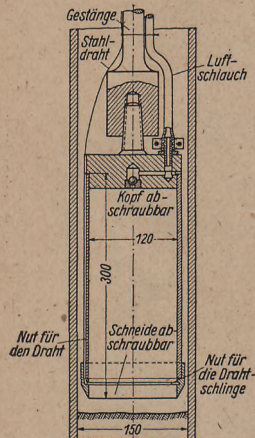


Bild 14.  
Entnahmestutzen für ungestörte Proben schwachbindigen Bodens aus dem Bohrloch

an eine Luftsaugpumpe, um während des vorsichtigen Anhebens durch dauerndes Absaugen der Luft oberhalb der Probe einen Überdruck an ihrer Unterseite zu erzielen und so ihr Herausrutschen zu verhüten. Während des Absenkens wird der am Gestänge lose befestigte Luftschlauch abgeklemmt, um das Eindringen von Wasser in den Stutzen soweit wie möglich zu unterbinden, und erst, wenn dieser 3...4 cm in den Boden eingedrungen ist, mit dem Absaugen der Luft begonnen.<sup>1)</sup>

Für die Entnahme ungestörter Proben dient gleichfalls die Bodenstanze von Ehrenberg, die bei Kies und Sand unter Anwendung eines Einspritzverfahrens arbeitet. Das Bohrpfahlverfahren von Burkhardt gibt die Möglichkeit, aus jeder Bodenart, auch aus weichem Fels, Proben zu entnehmen, jedoch wird der Boden durch die Rammarbeit zusammengedrückt, so daß sein ursprünglicher Porengehalt nicht ohne weiteres festzustellen ist.

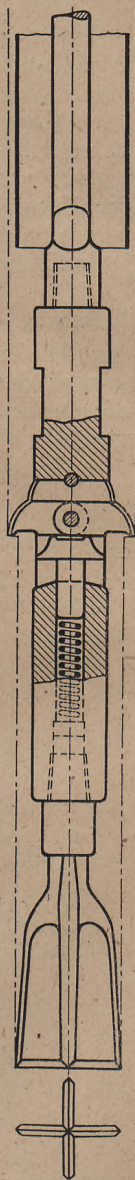


Bild 13.  
Kreuzmeißel

1) Besondere Anweisung dazu in Loos; „Praktische Anwendung der Baugrunduntersuchungen“, Beilage 3.

## 2. Bohrgestänge

Es besteht aus 1...5 m langen Stahlstäben von meist quadratischem Querschnitt und 24...40 mm Stärke. Die Verbindung der Stäbe erfolgt durch leicht lösbare Schlösser (Schraubenschloß, Bild 15, Blattschloß, Bild 16).

Das Schraubenschloß gestattet nur Rechtsdrehen und eignet sich nur für Stauch- und Stoßbohrer.

Das Blattschloß, rechts und links zu drehen, ist schnell zu lösen und ist für Drehbohrer, weniger für Stauch- und Stoßbohrer, geeignet.

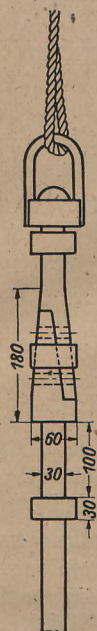


Bild 16. Blattschloß und Gestängewirbel

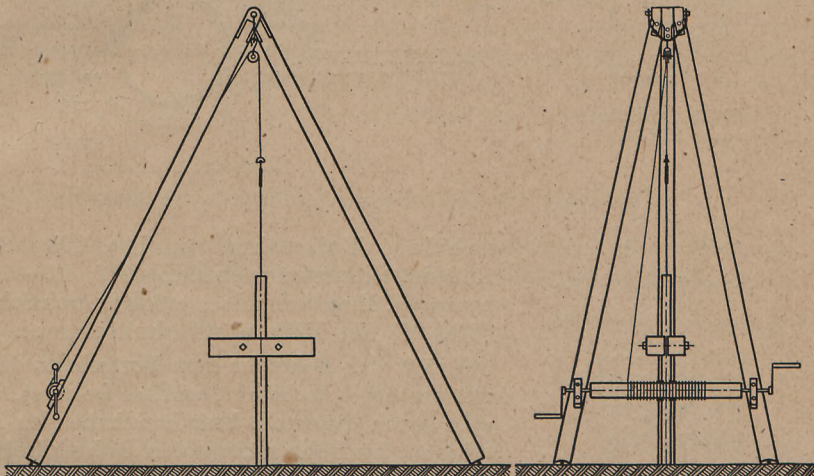


Bild 17. Bohrgerüst

Längere und damit schwerere Gestänge erfordern ein Bohrgerüst mit Winde (Bild 17), deren Seil an dem Gestängewirbel (Bild 16) befestigt ist und beim Stauch- und Stoßbohren auch als Rammtau dienen kann.

Zum Heraufholen losgelöster oder abgebrochener Gestängeteile dienen Fanggeräte wie der Glückshaken (Bild 18), die Federfangbüchse (Bild 19) und die Zahn-gabel (Bild 20).



Bild 18. Glückshaken

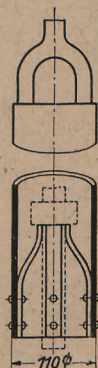


Bild 19. Federfangbüchse



Bild 20. Zahn-gabel



Bild 15. Schraubenschloß, keglig

### 3. Bohrrohre

In losem Boden, besonders bei größerer Tiefe und in wasserführenden Schichten, werden Bohrrohre erforderlich, damit das Bohrloch nicht zustürzt. Es sind dazu

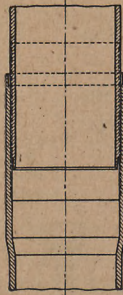


Bild 21. Bohrrohr  
nach DIN 4912

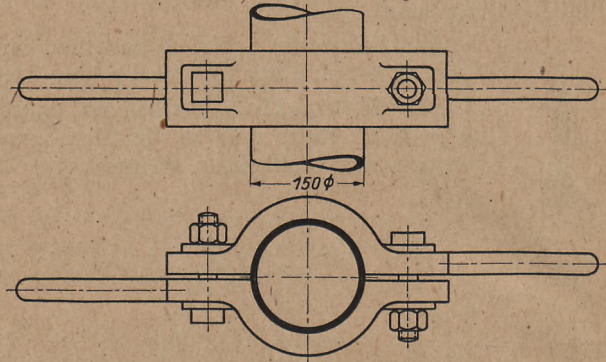


Bild 22. Rohrklemme

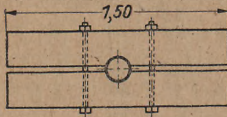


Bild 23. Bohrschelle

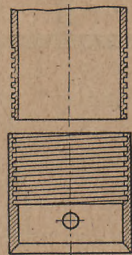


Bild 24.  
Bohrschuh

nahtlose Bohrrohre von 140, 178 oder 216 mm Außendurchmesser nach DIN 4912, 1,5...5 m lang, zu benutzen. Ihre Verbindung erfolgt durch Schraubmuffen (Bild 21) mit Hilfe von Rohrklemmen (Bild 22).

Damit das Bohrrohr dem Fortschritt des Bohrlochs entsprechend nachsinkt, wird es belastet, am einfachsten durch die den Bohrer handhabenden Arbeiter auf einer an das Rohr geklemmten Bohrschelle (Bild 23). Reicht die ruhende Belastung nicht aus, so wird durch Hin- und Herdrehen des Rohres mit einem an der Bohrschelle oder Rohrklemme befestigten Baum nachgeholfen. Das Eindringen wird durch einen Bohrschuh mit Stahlschneide (Bild 24), dessen Außendurchmesser gleich dem der Rohrmuffen ist, erleichtert.

Nach Abschluß der Untersuchung werden die Bohrrohre wieder herausgezogen, meistens mit einem Wuchtebaum, dessen Kopf eine um das Rohr geschlungene Kette bei der Aufwärtsbewegung anklemmt, bei der Abwärtsbewegung heruntergleiten läßt, wobei das Rohr, besonders zu Anfang, noch hin und

her zu drehen ist. Gelingt das Ziehen auf diese Weise nicht, so müssen Zahnstangen-, Schrauben- oder Druckwasser-Winden angesetzt werden.

### III. Ermitteln der Tragfähigkeit des Baugrundes

Die Bodenuntersuchungen, die in Abschnitt II beschrieben sind, geben zwar Aufschluß über Art und Schichtung des Baugrundes und damit über die erforderliche Gründungstiefe. Aus den erhaltenen Unterlagen wird sich jedoch häufig noch nicht die Tragfähigkeit des Bodens ergeben. Hierfür sind besondere Feststellungen nötig, soweit nicht aus Erfahrungen bei ähnlich gelagerten Fällen Schlüsse gezogen werden können. Bisher erfolgte die Ermittlung der Tragfähigkeit am häufigsten aus einer (statischen) Probelastung, die jedoch bei wenig durchlässigen Erdstoffen (fette Lehme, Ton, Klei, zersetzte Moore) infolge des Zeiteinflusses den Nachteil hat, daß ihre Ergebnisse nicht den wirklich eintretenden Setzungen des Bauwerks entsprechen. Bei durchlässigen und wenig bindigen Erdstoffen dagegen (Sand, Feinsand-Schluffgemenge, Aschen, Löß, zersetztes Moor) kann man durch eine Probelastung vergleichende Festigkeitszahlen erhalten. Bei der ersten Gruppe der wenig durchlässigen Böden sind erdstoffphysikalische Untersuchungen oder dynamische Verfahren durch eine anerkannte Versuchsanstalt anzuwenden.

#### a) Unmittelbare (statische) Probelastung des Baugrundes

Nach den „Vorschlägen und Richtlinien für Probelastungen“ des Deutschen Ausschusses für Baugrundforschung werden in Höhe der Bausohle, 10 cm unter der Baugrubensohle, starke, biegungsfeste Platten (Beton) verschiedener Größe (0,1, 0,5, 1,0 m<sup>2</sup>) in reichlichem Abstand verlegt, die zum Vergleich einander ähnlich, gewöhnlich quadratisch sind. Die Belastungsplatten werden genau mittig mit Steinen, Formstählen, Eisenmasseln oder, am förderndsten, mit Bleibarren in Laststufen  $\leq 0,5 \text{ kg/cm}^2$  belastet und für jede Laststufe die Höhe der Platten unmittelbar vor und nach dem Aufbringen der Last mittels einarmigen Hebels (Bild 25) oder durch Einnivellieren festgestellt.

„Körniger Boden“ wird durch die Belastung nicht allein lotrecht zusammengepreßt, sondern auch unter den Rändern der Lastplatte nach außen in den nicht unter Auflast stehenden, also noch lockeren Boden gedrängt. Nach Kögler-Scheidig<sup>1)</sup> ist die Bodenpressung am Rande 0 und nimmt etwa parabelförmig nach der Mitte hin zu (Bild 26), so daß sich dort ein Keil besonders stark verdichteten Bodens bildet.

Die Beziehungen zwischen Probelast und Senkung sowie zwischen Senkung und der dazu gebrauchten Zeit veranschaulicht am klarsten die Darstellung in einem Achsenkreuz (Bild 27).

Die Senkung der Platte nimmt zunächst im Verhältnis der Lastgröße zu, die Senkungslinie verläuft geradlinig bis zur „Proportionalitätsgrenze“ (A in Bild 27),

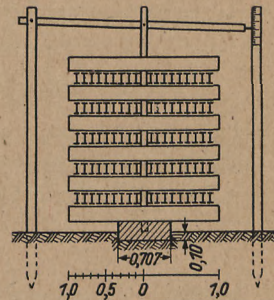


Bild 25.  
Unmittelbare (statische)  
Probelastung

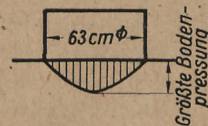


Bild 26.  
Bodendruck unter starrem  
Lastkörper auf Sandboden

1) Kögler-Scheidig, Baugrund und Bauwerk, 2. Auflage, W. Ernst & Sohn.

von der ab die Senkung im Verhältnis zur Lastgröße immer mehr zunimmt, die Senkungslinie eine immer stärkere Krümmung aufweist, was auf das Beiseitedrängen des

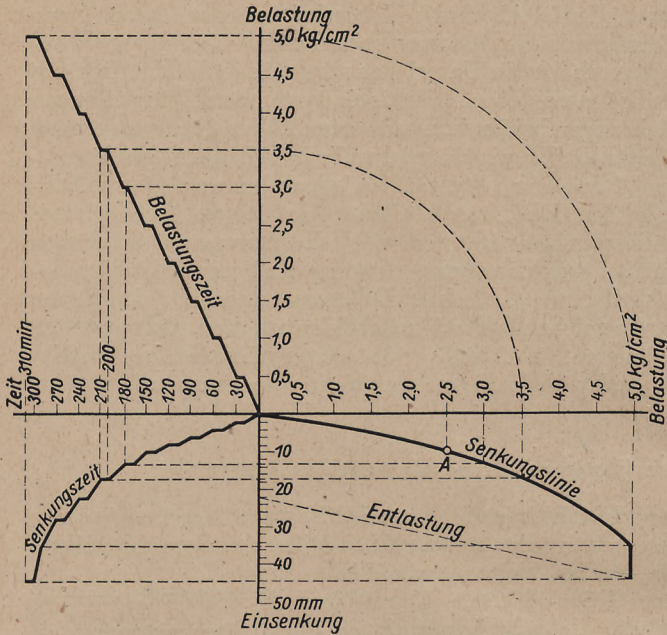


Bild 27. Darstellung der Ergebnisse einer Probelastung

flächen. Bei gleicher Belastung der Flächeneinheit wird sich das große und meist langgestreckte Fundament des Bauwerks stärker senken als die Probelastflächen. Denn bei dem Bauwerk

Bodens durch den immer schärfer werdenden Bodenkeil unter der Platte zurückzuführen ist. Bei immer weiterer Steigerung der Last sinkt die Platte mehr oder wenigertief (Bild 27, bei Aufbringung der Last  $5 \text{ kg/cm}^2$ ), woraus sich in der Senkungslinie ein lotrechter Abfall ergibt. Bei der Entlastung wird die Platte wieder hochgehen, jedoch nicht um die volle Senkung, vielmehr wird eine „bleibende Einsenkung“ bestehen bleiben.

Die Schwierigkeit in der Auswertung einer Probelastung besteht darin, daß die Senkungen bei den tatsächlichen Verhältnissen des Baues andere sind als bei den Probelast-

flächen. Bei gleicher Belastung der Flächeneinheit wird sich das große und meist langgestreckte Fundament des Bauwerks stärker senken als die Probelastflächen. Denn bei dem Bauwerk

kommt eine im Verhältnis zur Lastfläche nur kleine Fläche des umgebenden Bodens zur Mitwirkung bei dem Gegendruck, während bei der Probelastfläche unverhältnismäßig mehr Teile des umgebenden Bodens mitwirken. Außerdem kommt diese Mitwirkung bei langgestreckten Baufundamenten nur an den Langseiten in Frage, während sie bei den quadratischen oder kreisförmigen Probelastflächen allseitig eintritt. Es ist noch nicht gelungen, die Beziehungen zwischen Flächengröße und -form und Senkung eindeutig und allgemeingültig festzulegen (s. auch DIN 1054).

Das auf S. 11 beschriebene Belastungsverfahren läßt sich wohl in offener Baugrube und auch hier wegen des großen Arbeits- und Zeitaufwandes nur bei Einzelbelastungen anwenden. Zur Belastung des

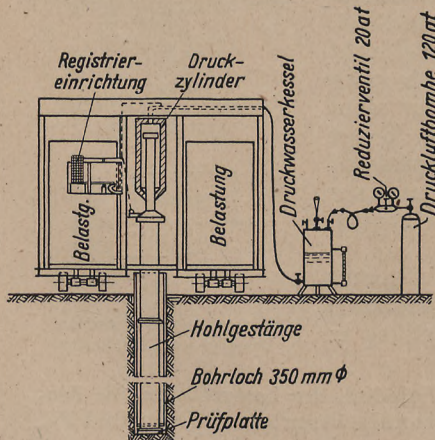


Bild 28. Bodenprüfer Wolfsholz-Siemens-Baunion

Baugrundes auf der Sohle von engen Schächten, Bohrlöchern u. a. müssen Sondergeräte Anwendung finden.

Für eine große Zahl von Probelastungen namentlich zur Prüfung tieferer Bodenschichten in Bohrlöchern ist der Bodenprüfer Wolfsholz-Siemens-Bauunion (Bild 28) zweckmäßig. Ein fahrbarer Portalkran dient dem auf die Prüfplatte gesetzten Druckwasserzylinder als Gegenstütze. Die durch das eingepreßte Druckwasser jeweils erzeugte Belastung (in  $\text{kg}/\text{cm}^2$ ) und die zugehörige Senkung der Platte werden gleichzeitig selbsttätig auf einen Papierstreifen aufgezeichnet.

Die Bodendruck-Prüfeinrichtung nach System „Lorenz“ (Allgemeine Baugesellschaft Lorenz & Co., Berlin-Wilmersdorf) besteht aus einem Gestänge, das an seinem unteren Ende die Druckfläche von  $50 \text{ cm}^2$ , an seinem oberen eine Tischplatte zur Aufnahme der Belastung hat (Bild 140). Das Gestänge wird in das Bohrloch eingeführt, bis die Druckfläche auf dem zu untersuchenden Baugrund aufsitzt. Die Belastung erfolgt entweder mittels einer hydraulischen Druckpresse oder durch Belastungsmaterial (Ziegelsteine). Die Einsenkung der Druckfläche wird vor Belastungsbeginn und nach Aufbringen der einzelnen Laststufen eingemessen und in einem Diagramm, ähnlich Bild 27, aufgetragen.

Ein wesentlicher Unterschied der beiden Verfahren besteht in der Größe der Druckplatten. Bei dem Bodenprüfer Wolfsholz-Siemens-Bauunion füllt diese das ganze Bohrrohr aus, so daß ein seitlicher Auftrieb des Bodens nach oben nicht eintreten kann. Bei dem System Lorenz dagegen und auch bei dem Verfahren Grün & Bilfinger kann der gedrückte Boden innerhalb des Rohres beiseite- und hochgedrängt werden, da die Druckplatte wesentlich kleiner als der Rohrquerschnitt ist.

Mit dem Köglerschen Seitendruckgerät wird die Zusammendrückbarkeit des Bodens nicht in der Lotrechten, sondern in der Waagerechten gemessen. Es besteht aus einer rd. 1,0 m langen Gummiblase,  $15 \dots 20 \text{ cm } \varnothing$ . Diese wird in das Bohrloch eingeführt und durch Preßluft aufgeweitet, nachdem das Bohrrohr auf die Länge der Blase hochgezogen ist. Aus dem Luftverbrauch und Manometerdruck wird mittels eines bei der Eichung gewonnenen Schaubildes der Halbmesser der Aufweitung, d. h. die Zusammendrückbarkeit des Bodens festgestellt. Hieraus ergeben sich die zu erwartenden Setzungen und Setzungsunterschiede und damit die zulässigen Bodenpressungen.

### b) Erdstoffphysikalische Baugrunduntersuchung

Die Beurteilung der gemäß Abschnitt II entnommenen Bodenproben durch den Augenschein gibt, wie dort bereits gesagt, häufig keinen sicheren Anhalt für die Eigenschaften des Baugrundes. Auch die Ergebnisse von Probelastungen haben oft große Mängel (S. 11), bei bindigen Böden sind sie überhaupt nicht brauchbar. Einwandfreie Ergebnisse liefern dagegen erdstoffphysikalische Untersuchungen, die durch eine der auf S. 1 genannten Anstalten auszuführen sind. Voraussetzung ist, daß ungestörte Bodenproben vorliegen. Mit Hilfe dieser Untersuchungen können im wesentlichen folgende Feststellungen gemacht werden: natürlicher Wassergehalt; Raumgewicht, spezifisches Gewicht; Porenvolumen, Porenziffer, Dichte; Kornverteilung; Konsistenz; Atterbergsche Konsistenzgrenzen, Plastizitätszahl; Wasserdurchlässigkeit; Kapillarität; Zusammendrückbarkeit und seitliche Nachgiebigkeit; Kohäsion und innere Reibung (Scherfestigkeit). Die genannten Feststellungen geben Aufschluß über Art, Schichtung und Tragfähigkeit des Baugrundes.

### c) Dynamische Baugrunduntersuchung

War bei den bisher beschriebenen Verfahren die Entnahme von Bodenproben notwendig, so wird bei dem dynamischen Verfahren die Untersuchung des Bodens an Ort und Stelle in seiner unveränderten Lage und Beschaffenheit durchgeführt. Bei dem Verfahren der Degebo (Deutsche Forschungsanstalt für Bodenmechanik) wird der Boden durch einen Schwingungserreger in Schwingungen versetzt. Aus der Maschinenleistung, den Schwingungsweiten und Schwingungsphasen erhält man die Eigenschwingungszahl des Bodens, die ein Maß für seine Tragfähigkeit am Maschinenort ist. Das gleiche gilt für die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Wellen, die ein Maß für die mittlere Tragfähigkeit des durchmessenen Profils ist. Beide Zahlen (Eigenschwingungszahl und Ausbreitungsgeschwindigkeit) wachsen mit der Tragfähigkeit des Bodens.

### d) Tragfähigkeit von Pfählen

#### 1. Probebelastung von Pfählen

Muß ein Bauwerk auf Pfählen gegründet werden, so empfiehlt es sich, durch Probepfähle die Tragfähigkeit des einzelnen Pfahles und damit die Gesamtzahl der Pfähle zu ermitteln. Dies kommt jedoch nur bei entsprechend großem Umfang des Bauvorhabens in Frage, wenn die zu erwartende Ersparnis an Zahl und Länge der Pfähle und damit an Kosten die Aufwendungen für die Probepfähle überwiegt.

Die Pfahllast wird auf den Baugrund übertragen

1. unmittelbar durch den Pfahlfuß, der den Spitzen- oder Fußwiderstand auslöst, und
2. mittelbar durch die Mantelreibung, d. h. den Reibungswiderstand der oberen Bodenschichten am Pfahlmantel, der die Pfahllast etwa in Kegelform auf den Baugrund in Höhe des Pfahlfußes verteilt (Bild 29).

Der Fußwiderstand wird durch den Klumpfuß mancher Ortpfähle (Bild 137 bis 140, 144) wesentlich erhöht.

Je geringer die Festigkeit des Baugrundes unter dem Pfahlfuß und damit der Fußwiderstand ist, um so größer muß die Mantelreibung sein. Diese wird gesteigert einerseits durch eine rauhere Pfahloberfläche, besonders durch die Wulste einiger Ortpfähle (Bild 137, 138, 144, 146), sowie durch eine merklich nach unten verjüngte Pfahlform, andererseits durch eine höhere Spannung des den Pfahl umschließenden Bodens. Diese Bodenspannung wird in einem Pfahlbündel mit dem Verdichten des Bodens durch Rammen der Pfähle, namentlich in einer Spundwandumschließung, erhöht. Mit Sicherheit erfolgt dies aber nur bei körnigem Boden, während die bei

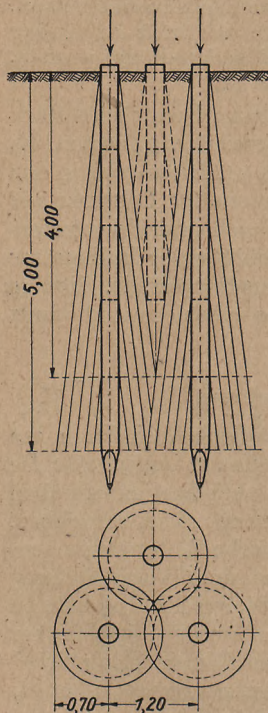


Bild 29. Übertragung der Pfahllasten durch den Reibungswiderstand des Bodens auf den Baugrund in 4 m und 5 m Tiefe

bindigem Boden anfangs eingetretene Spannungserhöhung sich mit der Zeit — zumindest zum Teil — wieder verliert.

Wesentlich bleibt aber immer, daß die von den Grundkreisen der Reibungskegel auf den Baugrund zu übertragende Pfahllast diesen nicht überbeansprucht und zum Nachgeben bringt. Dies droht um so mehr, je stärker sich innerhalb eines Pfahlbündels die Grundkreise überschneiden (Bild 29) und auf diese Flächen des Baugrundes die Anteile von 2, 3 und 4 Pfahllasten übertragen. Hierdurch kann der Fall eintreten, daß auch eine Vermehrung der Pfähle nicht die Möglichkeit ergibt, eine größere Last aufzunehmen. Das gleiche gilt auch für eine Verlängerung der Pfähle, die nur dann Zweck hat, wenn dadurch eine tragfähigere Bodenschicht erreicht wird.

Die Probelast wird auf gerammte Pfähle frühestens 1, in bindigem Boden 5 Tage nach beendeter Rammung aufgebracht, damit den durch das Rammn hervorgerufenen Bodenspannungen die Möglichkeit gegeben wird, sich wieder auszugleichen. Ortpfähle dürfen selbstverständlich erst nach Abbinden des Betons probebelastet werden.

Zur Aufnahme der Probelast wird nach O. Colberg ein Belastungsstuhl<sup>1)</sup> aus I-Trägern, Balken und Bohlen mittig auf den Pfahlkopf gebracht, der nach zwei Seiten durch einige lange, in 5 m Abstand mit Pfählen verbolzte Balken gegen Kippen gesichert ist. Eine nicht mittige und deshalb zu verbessernde Lastverteilung ist an der Durchbiegung der Balken zu erkennen, die durch das Abweichen eines Schnurschlags auf der Seitenfläche von einer durch das Gewicht straffgehaltenen Schnur verdeutlicht wird. Die Senkungen werden mit Hilfe eines zweiarmligen Hebels, dessen Stützpunkt sich außerhalb der von der Pfahlsenkung hervorgerufenen Bodenbewegung befinden muß, oder noch sicherer an einer Nivellierlatte, die durch einen Schlitz im Bohlenbelag mitten auf die Träger gesetzt wird, abgelesen (Bild 30).

Bequemer lassen sich einigermaßen nahestehende Pfähle einzeln oder, durch eine biegezugfeste Stahlverbindung zusammengefaßt, in einer Gruppe nach Butzer<sup>2)</sup> durch eine verhältnismäßig kleine Auflast, die auf einem Schienenwagen über einen immer wieder verwendbaren Hebel aus Stahlträgern verschoben wird, sowohl auf Druck wie auf Zug belasten, sowie in Kürze zur Ermitt-

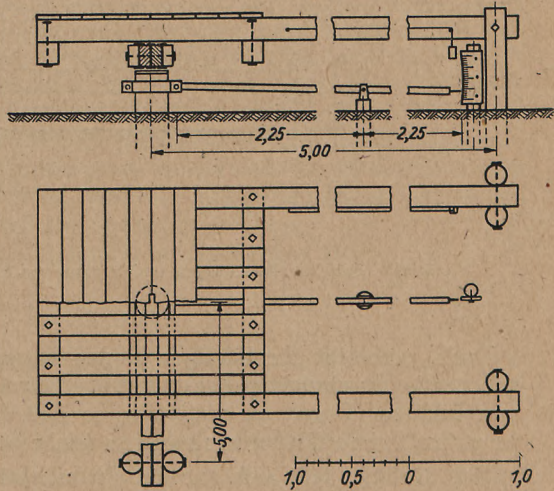


Bild 30. Belastungsstuhl für Probeppfähle nach O. Colberg

1) „Handbuch für Eisenbetonbau“, 4. Aufl., IV. Band, 2. Kapitel, S. 380, Abb. 346.

2) „Der Bauingenieur“ 1924, Heft 13.





## 2. Rechnerische Ermittlung der Tragfähigkeit von Pfählen

Die Rammlisten wurden früher ziemlich allgemein dazu benutzt, um aus dem Ziehen beim letzten Ramm Schlag die Tragfähigkeit der Pfähle mittels Rammformeln zu berechnen. Doch stimmen die hieraus erhaltenen Werte der Tragkraft mit den aus der Probelastung derselben Pfähle ermittelten nur sehr selten überein: In bindigem Boden liefern die Rammformeln zu hohe, in körnigem zu niedrige Werte.

Dies hängt mit der bekannten Erscheinung zusammen, daß bindiger Boden durch das Rammen in solche Spannung versetzt wird, daß es zu deren Ausgleich und zum Weiterrammen einer Rammpause bedarf, wogegen körniger Boden durch das Rammen in dauernder Bewegung gehalten wird, sich aber in einer Rammpause so fest lagert, daß das Weiterrammen zu Anfang außerordentlich erschwert wird.

Laut DIN 1054 ist daher die Errechnung der zulässigen Belastung von Ramm-pfählen nur in nichtbindigem Boden nach Rammformeln erlaubt und auch nur dann, wenn die Formeln auf Grund örtlicher Erfahrungen und auf Grund von Probelastungen als zuverlässig nachgewiesen werden.

Die einfachste und gebräuchlichste Rammformel ist die von Brix:

$$P_{zul} = \frac{h}{ne} \cdot \frac{G_1 G_2^2}{(G_1 + G_2)^2}$$

worin

$P_{zul}$	zul. Belastung des Pfahls	....	in t		$e$	Ziehen beim letzten Schlag	in cm
$G_1$	Gewicht	„	„	....	„	(Ziehen durch Schlagzahl bei der letz-	
$G_2$	„	„	Bärs	....	„	ten Hitze)	
$h$	Fallhöhe	„	„	....	„	$n \geq 2$ ein Sicherheitswert	em

Beispiel aus der obigen Rammliste:

$$P_{zul} = \frac{100}{3 \cdot \frac{4}{16}} \cdot \frac{0,5 \cdot 1,0^2}{(0,5 + 1,0)^2} = 30 \text{ t.}$$

## IV. Zulässige Belastung des Baugrundes

Für die Festsetzung der zulässigen Belastung des Baugrundes sind nach DIN 1054 in erster Linie die örtlichen Erfahrungen über die Beschaffenheit und Tragfähigkeit der verschiedenen Bodenarten maßgebend. Liegen solche nicht vor, so müssen dazu die Ergebnisse von Probelastungen, dynamischen Baugrunduntersuchungen, öfters noch, namentlich bei bindigem Boden und zur Ergänzung, von erdstoffphysikalischen Untersuchungen verwertet werden.

Werden nur Probelastungen vorgenommen, so wird man je nach der Nachgiebigkeit des Bodens, dem Vorkommen weicherer Schichten in der Tiefe, dem Unterschied in Größe und Grundform (Langbauten) der Probelastflächen und Bauwerkssohlen mit der zulässigen Belastung mehr oder weniger unter der Probelast, die das für zulässig erachtete Setzmaß ergab, zum mindesten mehr oder weniger unter der an der Proportionalitätsgrenze festgestellten Belastung bleiben.

### a) Zulässige Bodenbeanspruchung

Für Flachgründungen in zweifelsfreien Fällen, d. h. bei gleichmäßigen Bodenschichten, deren Eigenschaften bekannt sind, bei frostfreier Gründung (mindestens 80 cm unter Gelände), Erschütterungsfreiheit und bei einem zu erwartenden

Setzungsmaß, das für das Bauwerk noch zulässig ist, gibt DIN 1054 (2. Ausg. August 1940) folgende zulässige Bodenpressungen an:

	kg/cm <sup>2</sup>
I. Angeschütteter, nicht künstlich verdichteter Boden. Je nach der Beschaffenheit und Dicke der Gründungsschicht sowie der Dichte und Gleichmäßigkeit der Lagerung .....	0...1
II. Gewachsener (offensichtlich unberührter) Boden.	
a) Schlamm, Torf, Moorerde im allgemeinen .....	0
b) Nichtbindige festgelagerte Böden.	
1. Fein- und Mittelsand bis 1 mm Korngröße .....	2
2. Grobsand, Körnung 1...3 mm .....	3
3. Kiessand mit mindestens $\frac{1}{3}$ Raumteilen Kies und Kies bis 70 mm Korngröße .....	4
c) Bindige Böden (Lehm, Ton, Mergel)	
1. breiig .....	0
2. weich (leicht knetbar) .....	0,4
3. steif (schwer knetbar) .....	0,8
4. halbfest .....	1,5
5. hart .....	3
Bei bindigen Böden ist besonders auf die zu erwartenden Setzungen zu achten.	
d) Fels mit geringer Klüftung in gesundem unverwittertem Zustande und in günstiger Lagerung. Bei stärkerer Zerklüftung oder ungünstiger Lagerung sind die nachstehenden Werte um mehr als die Hälfte zu ermäßigen.	
1. in geschlossener Schichtenfolge (Grauwacke, Sandstein, Kalkstein, Marmor, Mergelstein, Dolomit, kristalliner Schiefer, Schiefer-ton)	
$\alpha$ ) von geringerer Festigkeit .....	10
$\beta$ ) in fester Beschaffenheit (über 50 kg/cm <sup>2</sup> Druckfestigkeit) .....	15
2. in massiger oder säuliger Ausbildung (Granit, Syenit, Diorit, Porphyr, Diabas, Basalt, Andesit, Gneis) .....	30

Vorstehende Werte können erhöht werden, wenn die Bauwerkssohle tiefer als 2 m unter der Oberfläche des gewachsenen Bodens liegt oder wenn bei nichtbindigem Boden die Gründungssohle über einer gleichmäßigen Bodenschicht liegt, deren Dicke mindestens das Zweifache der Breite des Gründungskörpers beträgt (s. DIN 1054, § 4).

#### b) Zulässige Pfahlbelastung

Bei einwandfrei festgestellten Bodenverhältnissen können nach DIN 1054 folgende Erfahrungswerte für die zulässige Belastung eines Rammpfahles von 5 m Mindestlänge zugrunde gelegt werden, wenn der Pfahl genügend tief in eine tragfähige Bodenschicht reicht (z. B. in festen Sand 1,5...2,0 m tief) und keine nennenswerten Erschütterungen auftreten:

für runde Holzpfähle

von 30 cm mittlerem Durchmesser	30 t
von 35 cm mittlerem Durchmesser	35 t
von 40 cm mittlerem Durchmesser	40 t

für quadratische Stahlbetonpfähle

von 30 cm voller Seitenlänge	... 35 t
von 35 cm voller Seitenlänge	... 43 t
von 40 cm voller Seitenlänge	... 50 t

Freistehende Pfähle, auch solohe, die durch breiige Bodenschichten gerammt sind, sind auf Knicksicherheit zu untersuchen.

Wird die zulässige Pfahlbelastung durch Probelastung ermittelt, so darf als Tragfähigkeit des Pfahles zwei Fünftel der bei den Probelastungen gefundenen Bruchlast oder der höchsten erreichten Last angesetzt werden. Die Bruchlast ist die Last, bei der das Versinken des Pfahles beginnt.

Durch Erschütterungen, dauernde Stoßwirkungen oder starke Schwingungen infolge von Verkehr, Maschinenbetrieb u. a. können bei nichtbindigen Böden starke Setzungen entstehen. Wenn derartige Einwirkungen zu befürchten sind, sind besondere Untersuchungen durch eine anerkannte Versuchsanstalt anzustellen (dynamische Baugrunduntersuchung).

Bezüglich Einzelheiten wird auf DIN 1054 verwiesen.

## V. Verbessern der Tragfähigkeit des Baugrundes

### a) Rütteldruckverfahren

Unter dem Einfluß von Erschütterungen lagert sich Sandboden, der noch nicht seine dichteste Lagerung besitzt, um, wodurch eine Hohlraumverminderung erzielt wird. Infolgedessen wird der Boden eine größere zulässige Beanspruchung haben

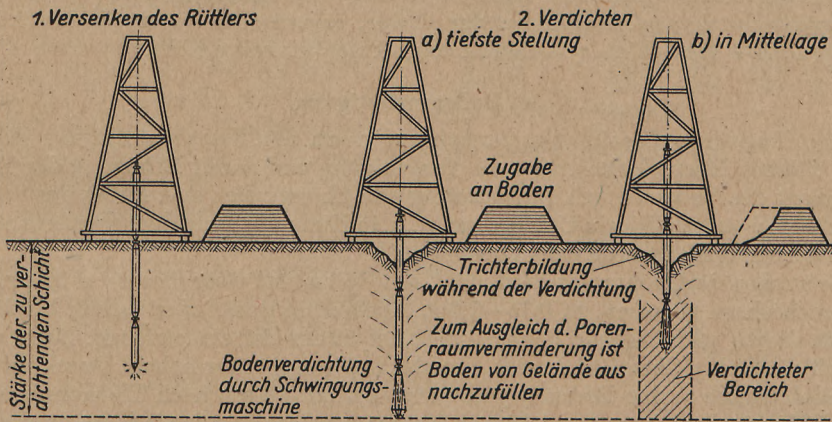


Bild 32. Vereinfachte Darstellung des Arbeitsganges einer Bodenverdichtung nach dem Rütteldruckverfahren

können als in seinem Ausgangszustand. Die von der Firma J. Keller, Frankfurt/M. zur Bodenverdichtung verwandte Schwingungsmaschine (Rüttler) ist ein röhrenförmiger Stahlkörper von 30...40 cm Durchmesser, in dem ein Elektromotor untergebracht ist, der eine Anzahl gleichgerichteter Exzentrerscheiben in Umdrehung setzt. Dieser Rüttler wird unter Zusatz von Druckwasser durch sein Eigengewicht in den Boden versenkt (Bild 32) und verdichtet ihn in einem Umkreis von etwa 2,3...3,0 m Durchmesser. Die Erhöhung der Tragfähigkeit ist abhängig von der Körnung und ursprünglichen Lagerung des Sandbodens. Selbstverständlich muß die Tiefe der verdichteten Schicht genügend groß sein (S. 3).

### b) Bodenverdichtungspfähle

Wie bereits auf S. 14 erwähnt, wird bei dem Einrammen von Pfählen der Boden zwischen den Pfählen verdichtet. Hierauf baut sich die Bodenverdichtung nach dem Frankipfahlverfahren<sup>1)</sup> auf (Bild 33). Die Ausführung erfolgt wie

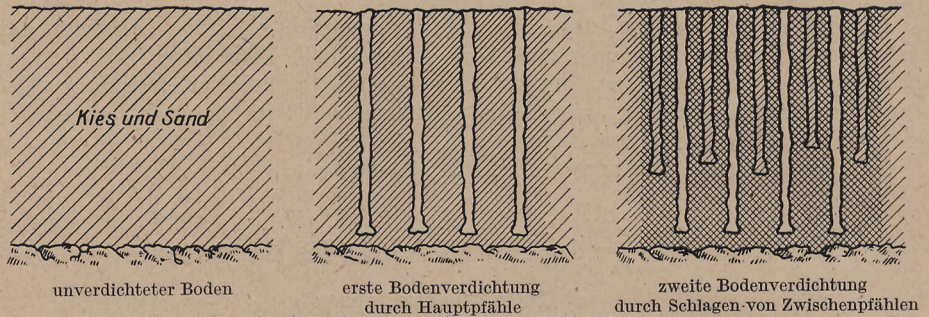


Bild 33. Darstellung des Arbeitsganges beim Verdichten des Bodens nach dem Frankipfahlverfahren

bei dem Frankipfahl (S. 93). Jedoch wird weder bei der Bildung des Pfropfens noch beim Aufbau des Pfahles ein Bindemittel verwandt, sondern es werden nur die Zuschlagsstoffe verschiedener Körnung in den Boden gestampft. Der Boden wird einerseits durch das Einrammen der Pfähle, andererseits durch die Erschütterungen stark verdichtet, so daß sich seine Tragfähigkeit erhöht.

### c) Bodenverfestigung

Das Bodenverfestigungsverfahren nach Dr. Joosten (Firma Beton- und Tiefbau Mast, Berlin) führt die Verfestigung und damit Erhöhung der Tragfähigkeit des Bodens durch Einspritzung von Chemikalien aus. Es ist nur durchführbar bei quarzhaltigem Untergrund, d. h. in Kies und Sand, dem allenfalls etwas Ton oder dergleichen beigemischt sein darf.

Es werden Stahlrohre von 25 mm  $\varnothing$ , mit Spitze und über dieser auf 50 cm mit 1-mm-Löchern versehen, in 0,75–1,0 m Abstand in den Boden (schon bis 25 m) bis in die zu verfestigende Schicht zunächst 50 cm tief eingetrieben. Dann wird durch die Rohre Chemikal I, eine Kieselsäurelösung, unter hohem Druck mittels Preßluftpumpe in den Boden gepreßt und das Einpressen nach Tiefertreiben der der Rohre in Schichten von je 50 cm fortgesetzt, bis die erforderliche Stärke der Bodenschicht erreicht ist. Hierauf wird Chemikal II, eine Salzlösung, in gleichen Stufen unter Hochziehen der Rohre eingepreßt, womit sich durch Aufeinanderwirken der beiden Chemikalien die Versteinerung auf etwa 1,40 m  $\varnothing$  sofort und dauernd vollzieht. Die erzielten Festigkeiten hängen im wesentlichen von dem anstehenden Bodenmaterial ab; sie schwanken zwischen etwa 20 kg/cm<sup>2</sup> bei Feinsand und 90 kg/cm<sup>2</sup> bei Rheinkies.

Das Verfahren ist auch anwendbar zur nachträglichen Erhöhung der Tragfähigkeit des Bodens unter einem Bauwerk, wie Bild 34 zeigt.

Eine Bodenverfestigung kann auch durch Einspritzen von Zement erreicht werden. Dieses Verfahren ist in der letzten Zeit häufig bei zerklüftetem Fels an-

1) Frankipfahl-Baugesellschaft, Düsseldorf.

gewandt worden, dessen Tragfähigkeit hierdurch erheblich vergrößert, zum Teil überhaupt erst gesichert wurde.

## B. Baugrube

Die Grundfläche der Baugrube muß gewöhnlich etwas über die des Baues hinausreichen:

- ≧ 20 cm, um die Verschalung der Baugrubenwand wieder entfernen und die Hinterfüllungserde gut einstampfen, auch vorhandenes Grundwasser während der Bauausführung ableiten zu können;
- ≧ 60 cm, um an der Außenseite des Baues einen etwa erforderlichen Arbeitsraum zu schaffen.

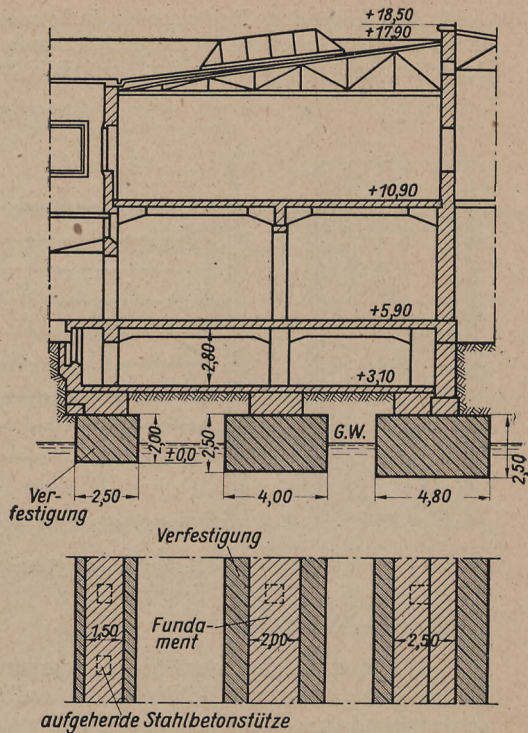


Bild 34. Chemische Bodenverfestigung nach Dr. Joosten unter den Fundamenten eines Gebäudes

## I. Im Trocknen

Die Baugrubenwand wird in freiem Gelände abgeböschst. Werden jedoch bei großer Tiefe die Kosten für den Aushub und die Wiederverfüllung des Erdkörpers  $V$  höher als die Kosten einer Absteifung  $A$  (Bild 35), so wird auch in freiem Gelände die Baugrube verschalt. Bei beschränktem Bauplatz, d. h. wenn nicht nur die Böschungfläche, sondern auch die Rutschfläche zu dicht an ein anderes Bauwerk heranreichen würde, ist die Baugrube zu verschalen.

### a) Abböschten der Baugrubenwände

Die Böschung darf um so steiler sein, je kürzere Zeit sie stehenbleibt und je standfester der Boden ist; für mittelfesten Boden, wie sandigen Lehm, genügt im allgemeinen ein Böschungswinkel von  $60^\circ$ .

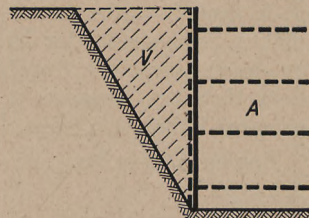


Bild 35. Vergleich zwischen Abböschung und Verschalung der Baugrubenwand

### b) Verschalen der Baugrubenwände

Die Baugrubenwände werden mit waagerechten oder lotrechten Bohlen verschalt, die durch Steifen oder durch eingerammte Pfähle oder I-Stähle gehalten werden. Zwischen parallelen, gegeneinander abgesteiften Wänden bleibt die Ausschachtungsbreite 1...3 cm unter dem Maß, das sich rechnermäßig aus lichter Weite, Laschen- und Bohlenstärken ergibt, damit die Steifen wirklich stramm eingespannt werden, beim Anschlagen mit dem Hammer „brummen“.



Die sich folgenden Steifen sollen in lotrechten und waagerechten Ebenen stehen, damit sie den Arbeitsraum möglichst wenig beengen und ermöglichen, Bohlen als Pritschen waagrecht auf sie zu legen (Bild 36, 77).

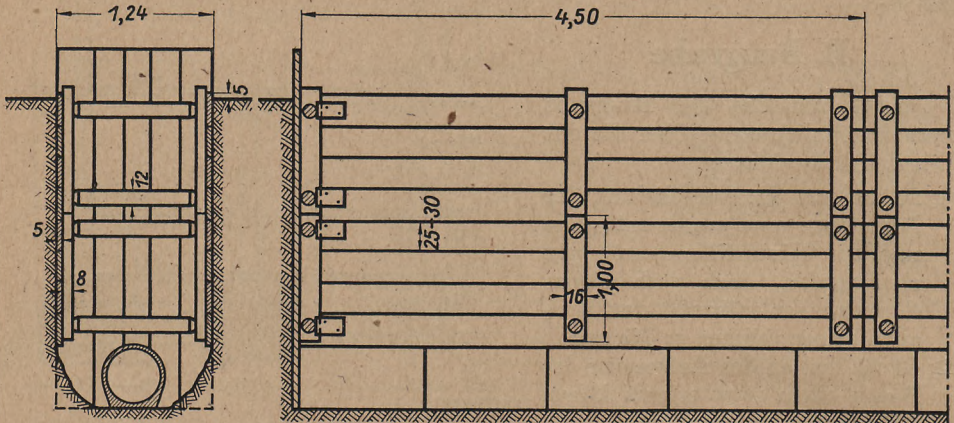


Bild 36. Waagerechter Verbau einer Baugrube zur Verlegung von Rohrleitungen mit lotrechter Verschalung der Stirnwand

### I. Waagerechter Verbau

Die Bohlen werden gewöhnlich waagrecht eingezogen, aber nur, wenn der Boden wenigstens auf Bohlenbreite, auf 20...30 cm Höhe steht, da die Baugrubenwand zum Einsetzen einer Bohle so hoch lotrecht abgeschachtet sein muß.

**Absteifung waagerechter Schalbohlen.** Der einfachste Verbau unter Verwendung waagerechter Bohlen ist der von Baugruben zur Verlegung von Rohrleitungen (z. B. Entwässerungsleitungen).

Je nach Standfestigkeit des Bodens werden beiderseitig 1...4 Bohlen auf einmal eingezogen, in der Mitte und an den Enden mit Brusthölzern verlascht, zwischen diesen die Steifen schräg angesetzt und längs der Brustholzfaser mit dem Hammer waagrecht und fest getrieben (Bild 36). Für größere Leitungsarbeiten haben sich folgende Regelmäße als die günstigsten ergeben:

Bohlen 4,50 m lang, 25...30 cm breit, 5 cm stark, an den Enden rechtwinklig gekappt.

Brusthölzer 1,0 m lang, 8/16 cm.

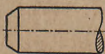


Bild 37.  
Gekröpfter  
Steifenkopf



Bild 38.  
Bohlenkopf  
mit Wellstahl beschlagen

Steifen 10...20 cm  $\varnothing$  je nach Länge und Tiefenlage. Unter die Steifen, die mit Pritschen für Baustoffe und Boden belastet werden, sind der Sicherheit halber Knaggen zu nageln.

Eine aus Sicherheitsgründen nicht empfehlenswerte, jedoch holzsparende Ausführung ist der

Einbau von nur einem Brustholz am Bohlenende, das den Bohlenstoß deckt und so zwei Bohlen hält.

Zur besseren Haltbarkeit werden die Steifen gekröpft (Bild 37), die Bohlen an den Enden mit Wellstahl beschlagen (Bild 38).

Der Verbrauch an Steifen und Brusthölzern wird durch Verwendung von Spindelschuhen oder stählernen Spindelspreizen (Bild 39) verringert.

Diese sind unbedingt zu benutzen, wenn Erschütterungen vermieden werden müssen, wie beim Absteifen tiefer Baugruben nahe bestehenden Bauten oder beim Abfangen einer gerutschten Schalwand. Für letzteren Fall sollten auf jeder Baustelle wenigstens einige Schraubsteifen bereitliegen.

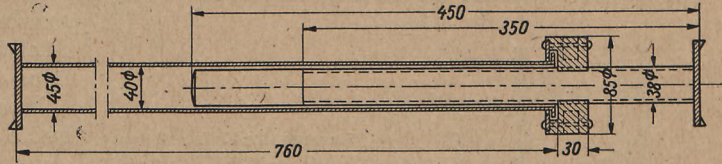


Bild 39. Stählerner Spindelspreize (Karl Kaempfer G.m.b.H., Dortmund)

Darf wegen schlecht stehenden Bodens jedesmal nur auf 1...2 Bohlenbreiten tiefergeschachtet werden, so werden die beiden ersten Bohlen zunächst durch zwei Steifen nur notgesteift und erst nach Einziehen der beiden weiteren Bohlen die Brusthölzer regelrecht eingebaut. Dieses Umsteifen erfolgt beim Aussteifen in umgekehrter Reihenfolge.

Bei schmalen Baugruben wird die Stirn mit lotrechten Bohlen verschalt, die mit zunehmender Ausschichtung tiefer geschlagen und von den Endsteifen gehalten werden, die ihrerseits an den Enden durch Knaggen (Bild 36), Bauklammern oder Steifen (Bild 40) gegen Abrutschen zu sichern sind.

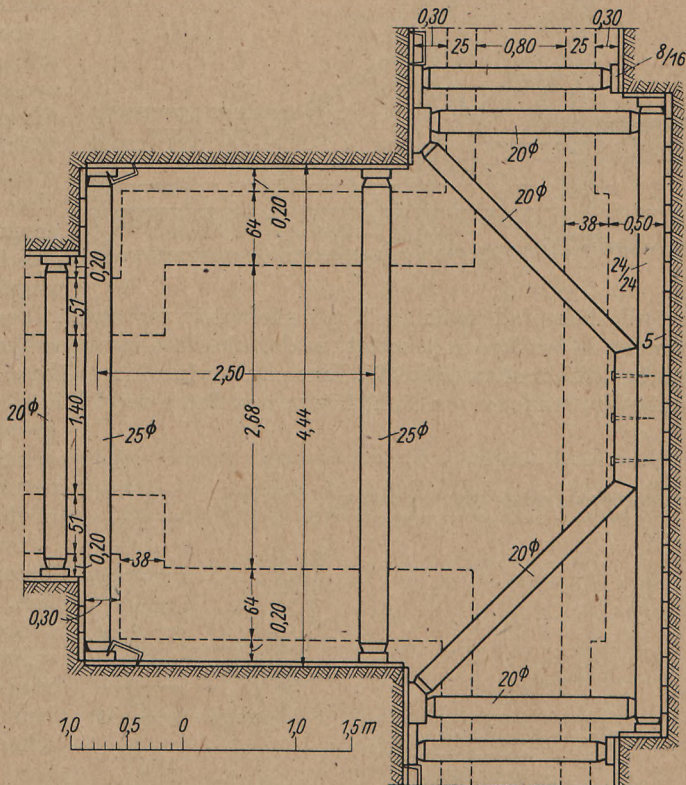


Bild 40. Baugrube für den Regenüberfall eines Entwässerungskanal

Bei breiten Baugruben wird die Stirn waagrecht wie die Längswände verschalt.

Falls sich Schrägsteifen nicht vermeiden lassen, sollen sie möglichst nur zu einer Baugrubenwand schräg stehen. Hier sind die Brusthölzer stärker zu wählen, da sie eine Schmiege zum Ansatz der Brusthölzer erhalten. Sie sind durch



vorgeschlagene Bauklammern oder Knaggen gegen Verschieben zu sichern (Bild 41). Sich kreuzende Steifen lassen sich häufig schwer festschlagen und sind daher möglichst nicht einzubauen.

Bei rechteckigen, nahezu quadratischen Baugruben werden die Steifen entweder kreuzweise entsprechend Bild 77 eingezogen oder übereck wie in Bild 78 angeordnet. Letzteres ist in

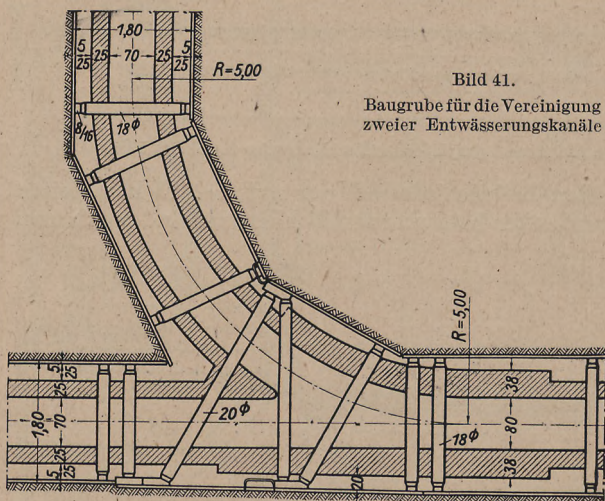


Bild 41.  
Baugrube für die Vereinigung  
zweier Entwässerungskanäle

Rücksicht auf den freien Arbeitsraum günstiger.

Ist bei einer Baugrubenbreite  $\geq 7 \dots 10$  m die gegenseitige Absteifung der Wände nicht mehr möglich, so wird bei einigermaßen stehendem Boden und einer Baugrubentiefe  $\leq 2,5$  m die Baugrubenwand mehr oder weniger lotrecht abgeschachtet. Davor werden Pfähle in etwa 2 m Abstand geschlagen, hinter diese waagerechte Bohlen geschoben und bei etwas Böschung gut hinterstopft. Die Pfähle werden

erforderlichenfalls noch am Kopfe rückwärts verankert. Diese Anker (Rundstahl) werden in den Boden gebettet, so daß sie einen etwaigen Verkehr neben der Baugrube nicht hindern (Bild 42). Eine entsprechende Ausführung größeren Ausmaßes unter Verwendung von Stahlträgern und Beton zeigt Bild 43. Der Einbau der Baugrubenwand erfolgte vor dem Aushub der Baugrube unter kanalmäßiger Absteifung (Bild 43 a).

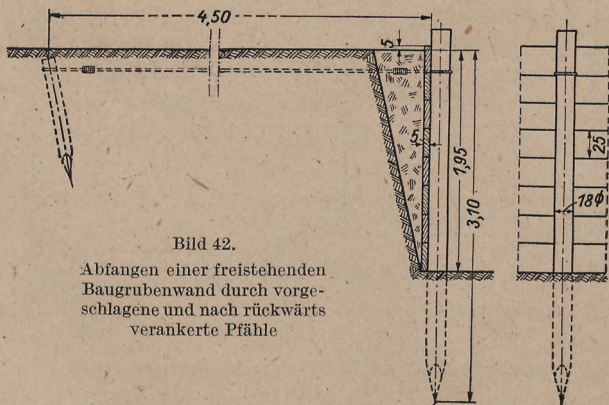


Bild 42.  
Abfangen einer freistehenden  
Baugrubenwand durch vorge-  
schlagene und nach rückwärts  
verankerte Pfähle

Ist eine rückwärtige Verankerung nicht möglich, so muß die Baugrubenverschalung nach vorwärts schräg abgesteift werden. Der Einbau während der Ausschachtung ist abhängig von der Bodenart und der Gestaltung des Geländes, so daß jede Bauausführung ihre Besonderheiten

hat. Endzustand solcher Absteifungen s. Bild 44 und 80. Die immer kostspielige Schrägsteifung läßt sich häufig dadurch vermeiden, daß Teile des Bauwerks vor dem Gesamtaushub unter kanalmäßiger Absteifung hergestellt werden.

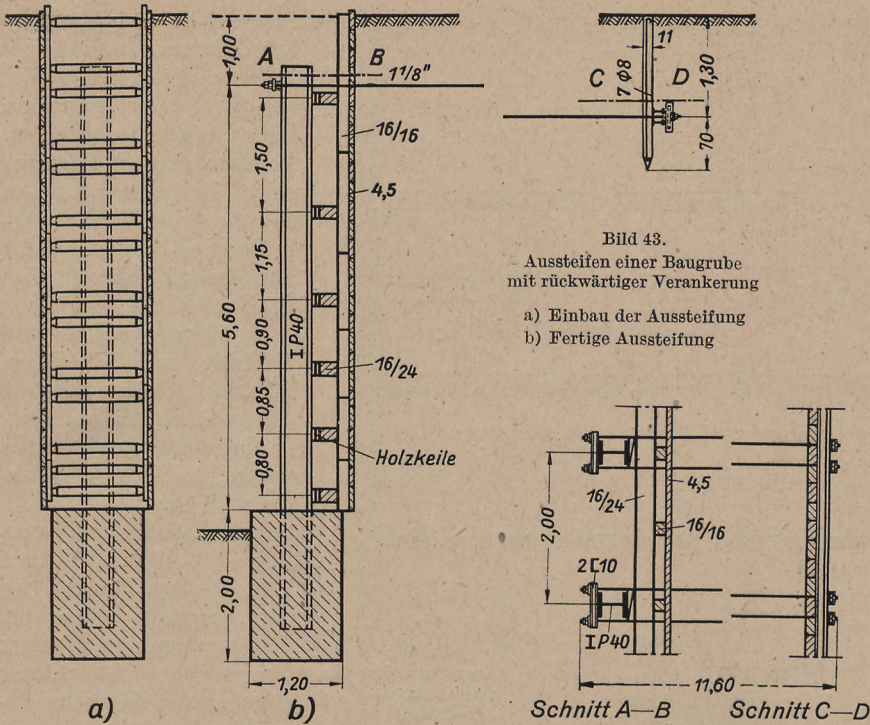


Bild 43.  
Aussteifen einer Baugrube  
mit rückwärtiger Verankerung

- a) Einbau der Aussteifung
- b) Fertige Aussteifung

Bei großen Baugrubenarbeiten, bei denen weder eine rückwärtige Verankerung noch eine Anordnung von Schrägsteifen möglich ist, müssen, falls Rundholzsteifen nicht mehr ausreichen, Stützen aus Stahlfachwerk (Bild 79) oder Stahlbeton verwendet werden.

**Befestigen waagerechter Schalbohlen an eingerammten I-Stählen.** Werden vor dem Aushub I-Stähle eingerammt, die Laschen und Brusthölzer ersetzen (vgl. auch Bild 43), so sind Steifen unter Umständen ganz entbehrlich, zumindest kann

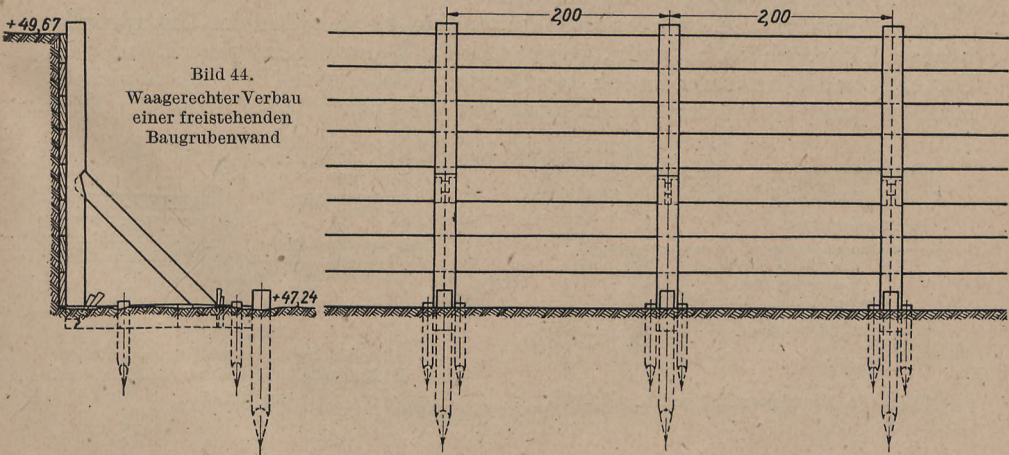


Bild 44.  
Waagerechter Verbau  
einer freistehenden  
Baugrubenwand

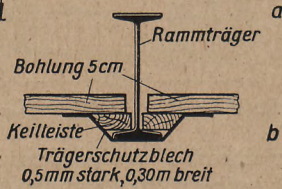
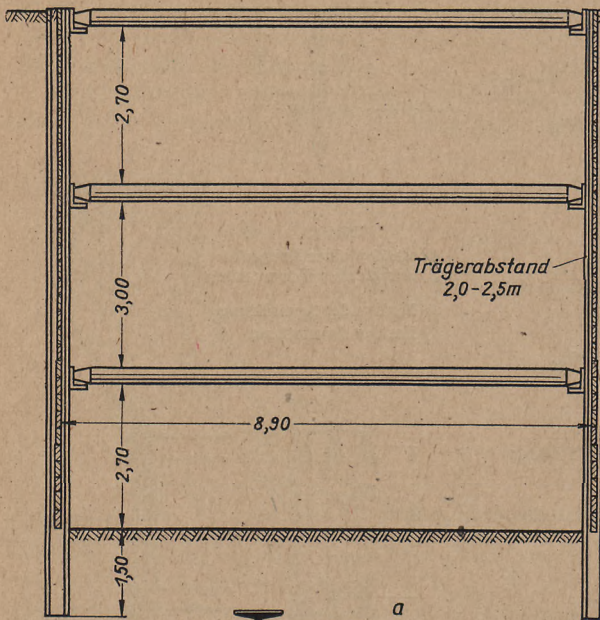


Bild 45.  
Baugrubeneinbau  
mit gerammten  
I-Stählen  
a) Querschnitt  
b) Verkeilung der  
Bohlen an den  
Rammträgern

ihre Zahl sehr eingeschränkt werden. Das Verfahren eignet sich namentlich für breite Baugruben in und an Straßen mit starkem Verkehr sowie für sonstige Baugruben, deren Wände große Drücke erhalten und bei denen Wert auf eine möglichst geringe Steifenzahl gelegt wird.

Zunächst werden vom Gelände aus in 2,0...2,5 m Abstand I-Stähle mit dem Steg winkelrecht zur Baugrubenkante in die Erde gerammt (Bild 45). Nachdem auf eine Bohlenbreite ausgeschachtet ist, werden die Bohlen, deren Länge etwas kürzer als der Abstand der beiden Stege zweier benachbarter Rammträger ist, hinter die inneren Flansche geschoben und gut verkeilt (Bild 45 b).

Das Ausschalen erfolgt Bohle um Bohle, dem

sich die Verfüllung jedesmal sofort anschließt. Die I-Stähle können erst nach vollständiger Verfüllung der Baugrube wieder herausgezogen werden.

Wird an den Einbau der Baugrube anbetoniert oder -gemauert, so müssen die Flansche der I-Stähle mit Blechen übergelagert werden (Bild 45 b), damit die I-Stähle wiedergewonnen werden können.

Diese Bauweise fand am häufigsten Anwendung bei dem Bau der Untergrundbahnen, hauptsächlich in Berlin, woraus sich die Baugrubenaussteifung für Untergrundbahntunnel nach der Berliner Bauweise (Bild 46) entwickelt hat. Der Regelabstand der Außenrammträger (allgemein nur breitflanschtige Pro-

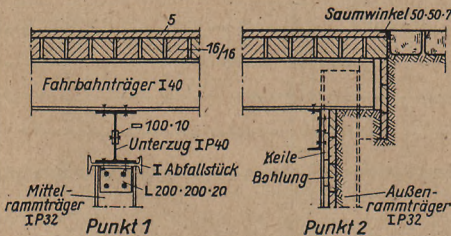


Bild 46 a. Knotenpunkte 1 und 2 zu Bild 46

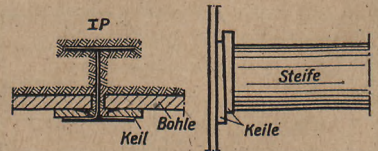


Bild 46 b.  
Ausbildung der Bohlenkeile  
Ausbildung der Steifenkeile an der Mittelwand  
zu Bild 46

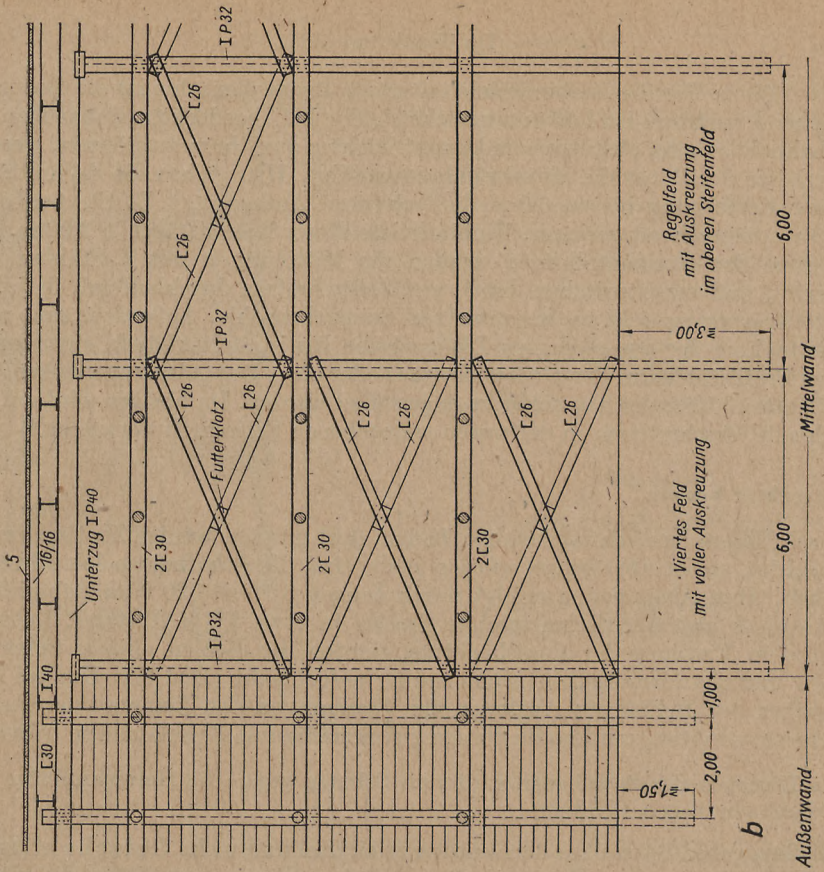
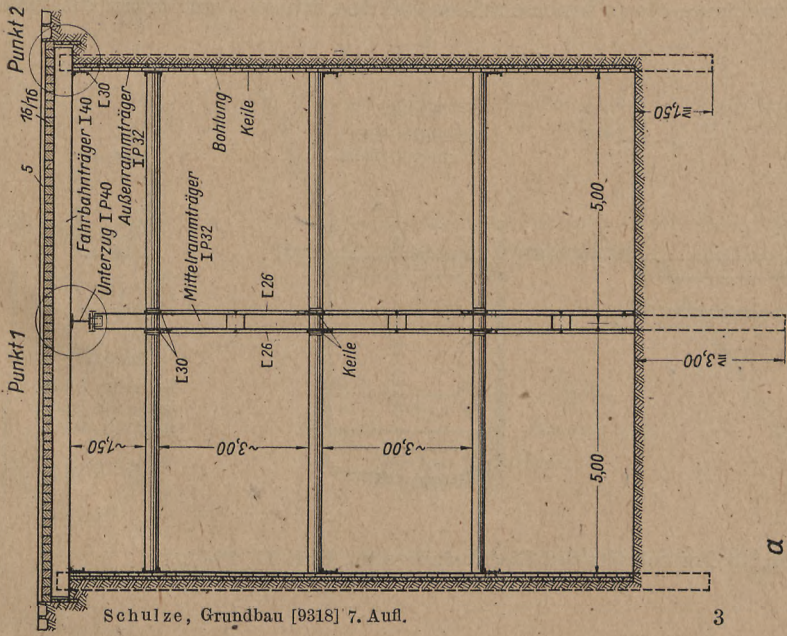


Bild 46. Baugrubenaussteifung für einen Untergrundbahntunnel nach der Berliner Bauweise  
 a) Querschnitt durch die Baugrube, b) Längsschnitt durch die Baugrube

file) ist 2,00 m. Für die Einbindetiefe unter der Baugrubensohle ist die Bodenart maßgebend, meistens ist 1,50 m ausreichend. Um bei abgedeckten Baugruben die Fahrbahnabdeckung abstützen und somit leichter ausführen zu können, werden in der Mitte der Baugrube Mittelwände ausgeführt. Hier stehen die Rammträger in einer Entfernung bis zu 6,0 m, bei schweren Auflasten, z. B. Straßenbahnanlagen, entsprechend geringer. Einbindetiefe dieser Rammträger  $\geq 3,00$  m. Zur Aufnahme der Horizontalkräfte werden die Mittelwände mit C-Stählen verschwertet, und zwar zwischen der 1. und 2. Steifenlage durchlaufend, in jedem 4. Mittelträgerrammfeld bis hinunter zur Baugrubensohle. Außerdem sind noch zur Aufnahme der waagerechten Längsschübe Horizontalverbände einzubauen, die aus Profilstählen in Form eines Kreuzes oder eines Doppelsprengewerkes in je 30 m Abstand über der Tunneldecke angeordnet werden. Im übrigen wird auf die eingehende Beschreibung in der unten angegebenen Zeitschrift verwiesen.<sup>1)</sup>

## 2. Lotrechter Verbau

In sehr losem, schlecht stehendem Boden, der, nur auf wenige Zentimeter abgeschachtet, sofort abgefangen werden muß, sind die Schalbohlen lotrecht einzuziehen. Ihre Abspreizung erfolgt durch Zangen 8/16...10/20 oder Rahmhölzer 14/14...16/16 und dazwischengesetzte Steifen in etwa 2,0 m Abstand. Entsprechend dem Fortgang der Ausschachtung werden die Bohlen einzeln tiefer getrieben und die Absteifungen nacheinander eingebracht (Bild 47). Um bei dem Eintreiben der Bohlen ein Abgleiten der Steifen von den Zangen oder Rahmhölzern zu verhüten, werden die Steifen zweckmäßig mit Bauklammern befestigt.

Das Hirnende der Schalboden wird zum Schutze gegen die Hammerschläge mit Bandstahl übernagelt (Bild 48).

Bei Baugrubentiefen über 4 m werden zwei, drei und mehr Gefache erforderlich, deren Wände etwas unterschritten werden müssen, um unten die gleiche

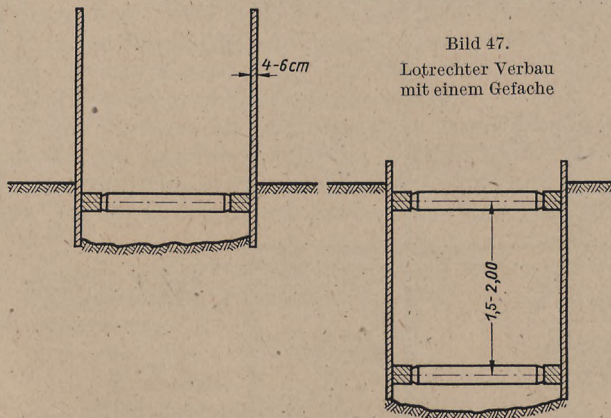


Bild 47.  
Lotrechter Verbau  
mit einem Gefache



Bild 48.  
Lotrechte Schal-  
bohle mit Band-  
stahl übernagelt

1) Organ für Fortschritte des Eisenbahnwesens, Heft 11, 1941.

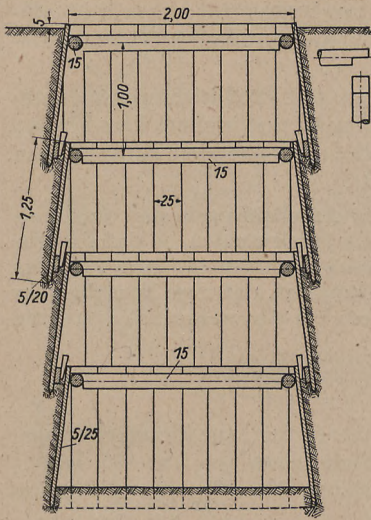


Bild 49. Lotrechter Verbau mit mehreren Gefachen

Baugrubenbreite wie oben zu erhalten (Bild 49). Nach Fertigstellung zweier Gefache werden die Steifen am Stoß durch eingetriebene Keile stramm verspannt.

Die Steifen, Zangen, Rahmhölzer werden mit dem Höherwachsen des Baues der Verfüllung entsprechend wieder herausgenommen, die Bohlen aber erst, wenn sie nahezu verfüllt sind.

Stählerne Kanaldielen [Dortmunder Union (Bild 50), „Kölner Modell“ (Bild 51) von Hoesch und Klöckner] halten gegenüber Holzbohlen den Boden noch sicherer, da sie sich

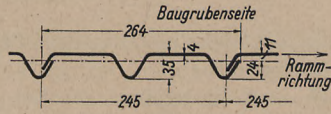


Bild 50. Union-Kanal-Diele (Dortmund-Hoerder Hüttenverein, A.G., Dortmund)

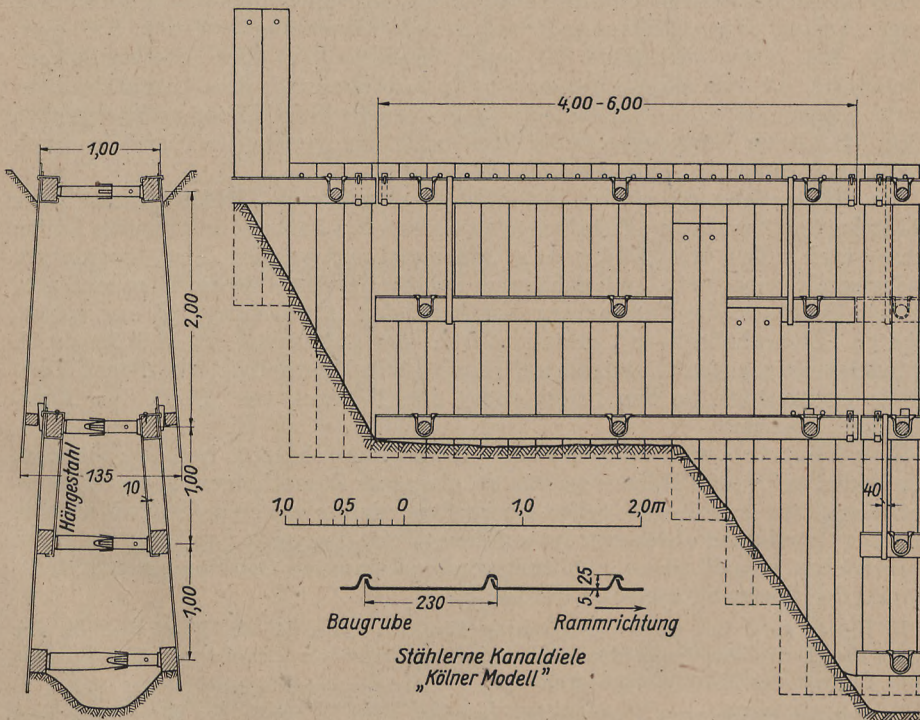


Bild 51. Kölner Einbau stählerner Kanaldielen mittels Spindelspreizen

infolge ihrer geringen Stärke von 4...5 mm leicht, am besten mit einem Preßlufthammer, in den Boden eintreiben lassen. Infolge ihres größeren Widerstandsmomentes erlauben sie eine sparsame Absteifung.

Die Kanalbauabteilung der Stadt Köln steift ihre mit Preßlufthammer eingetriebenen stählernen Kanaldielen mit Spindelsteifen ab und sichert den Verbau gegen die von dem dortigen, sehr „rolligen“ Kiesboden drohenden Rutschungen durch Aufhängen der Rahmen und Steifen (Bild 51).

Die stählernen Kanaldielen sind zwar in den ersten Anschaffungskosten teurer als Holzbohlen, lassen sich jedoch außerordentlich oft wiederverwenden, so daß sie sehr viel wirtschaftlicher sind. Infolge ihrer geringen Stärke können sie immer wieder gezogen werden, da der entstehende Hohlraum so schmal ist, daß eine Rutschgefahr für den gewachsenen Boden nicht besteht, wie es oft bei den wesentlich stärkeren Holzbohlen der Fall ist.

### c) Stollenbau

Bauwerke, die nicht bis zum Gelände hochgeführt werden, wie Entwässerungskanäle, Untergrundbahnen, werden bei größerer Tiefe (etwa von 8 m ab), besonders in den verkehrsreichen Straßen der Großstädte, öfters in unterirdischen Stollen hergestellt.

In losem Boden (bergmännisch: „rolligem Gebirge“), wie er bei Tiefbauten meistens vorkommen dürfte, wird die Getriebezimierung (Bild 52) angewendet.

Der Druck des Bodens wird im Tiefbau heute meistens durch eine Verschalung, einen „Verzug“, aus stählernen Stollendielen [Dortmunder Union, Klöckner-Werke, AG., Osnabrück (Bild 52)] auf „Türstöcke“ (a) oder „Stollenzimmer“ übertragen, die, aus alten Schienen oder Formstählen nach dem Umriß des Bauwerks gebogen, sich auf Winkelstähle an den Enden einer Holzschwelle aufsetzen (Bild 52). Gegen Verschieben in der Stollenrichtung werden die Türstöcke durch dazwischengespannte „Sprengbolzen“ (b) gesichert.

Die Stollendielen (c) werden mit Hilfe eines größeren „Hilfstürstocks“ oder „Mittelgevierts“ und von „Pfundkeilen“ zwischen den äußeren und inneren Dielen schräg nach außen, mit „Pfändung“, angesetzt und, von der „First“ beginnend, nacheinander mit einem Preßlufthammer vollständig eingetrieben. Dazu muß vorher ein Schlitz in die Verschalung der Stirn, den „Ortsverzug“ (d) aus waagerechten „Zumachebrettern“, gestemmt sein; der Ortsverzug ist in Köln durch Spindelspreizen gegen ein lotrechtes, abgestrebtes Kantholz (e) vor einem Hilfstürstock abgesteift, an den Seiten gegen den Türstock vor „Ort“, das „Ortszimmer“, abgekeilt.

Zum Vortrieb wird zunächst das oberste Zumachebrett herausgenommen, der Boden auf dessen Höhe weggeräumt, ein neues Zumachebrett gegen das vorgetriebene Ort gesetzt und gegen ein zweites, weiter vor eingesetztes Kantholz und das Ortszimmer abgesteift. Ist auf diese Weise das ganze Ort Brett um Brett vorgetrieben, so wird ein neues Mittelgeviert und ein neues Ortszimmer aufgestellt, worauf der Vortrieb fortgesetzt werden kann.

In Köln wird bei weiter gespannten Kanälen (Abb. 52) die First noch in der Mitte durch drei an die beiden nächsten Haupttürstöcke angehängte I-Stähle bis zum Einbau des Mittelgevierts gesichert.

Soweit die Stöße vom Vortrieb frei werden, wird an Stelle der Pfundkeile und -hölzer (f) zwischen den äußeren und inneren Dielen Beton (g) aufs sorgfältigste

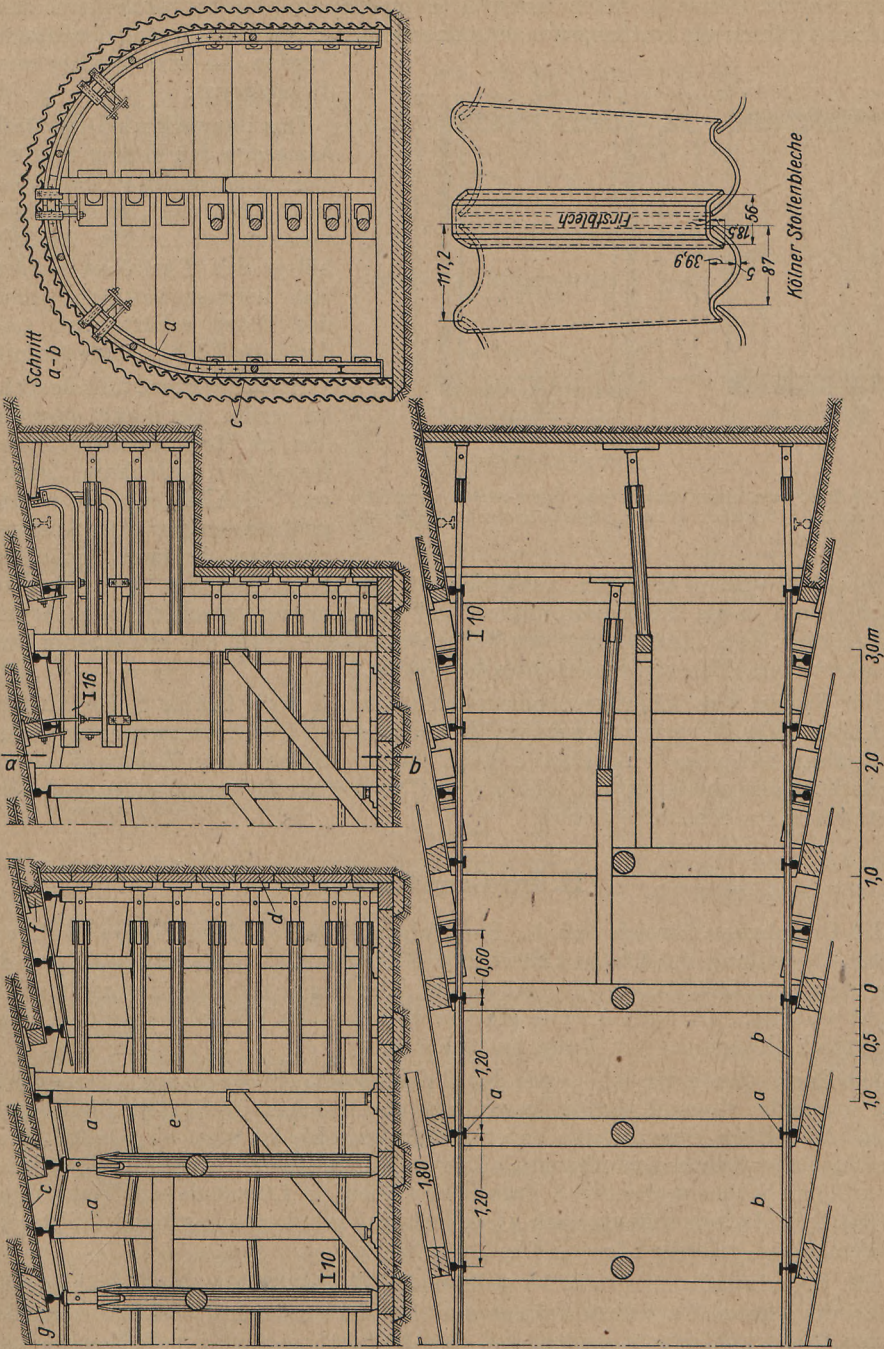


Bild 52. Kölnner Stollenvortrieb bei größerem Querschnitt



eingestampft, damit ja keine Hohlräume bleiben und nachträglich keine den Ausbau gefährdende Rutschungen entstehen können. Nach Erhärtung des Betons werden die Mittelgeviere wieder entfernt.

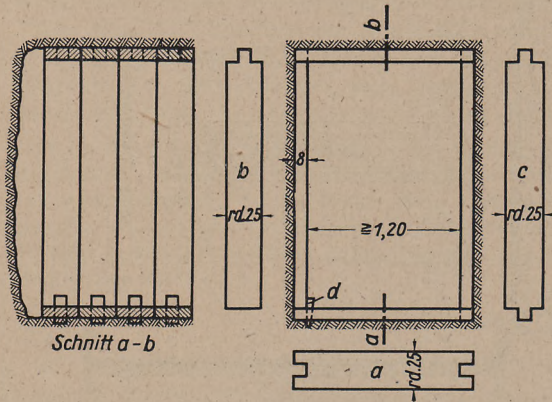


Bild 53. Stollen aus Schurzholzrahmen a) Boden- und Deckenstück b) einzapfiges Seitenstück c) zweizapfiges Seitenstück d) Holzkeil

wird auf 50...100 m bemessen, um gleichzeitig mehrere „Strecken“ vortreiben zu können und so die Dauer der „unter Tage“ nur langsam fortschreitenden Arbeit abzukürzen. Die „Abteufung“ des Schachtes erfolgt heute am einfachsten und sichersten mit Hilfe von Stahlspundwänden.

Für Stollen von kleineren Abmessungen können auch fertige Schurzholzrahmen (Bild 53) verwandt werden. Sie sind aber nur brauchbar, wenn der Boden wenigstens auf eine Rahmenbreite steht, da vor Einbau eines Rahmens die erforderliche Ausschachtung erfolgt sein muß. Die gleichen Rahmen können auch zum Abteufen eines Schachtes dienen.

## II. Im Grundwasser

Im Grundwasserbereich sind die Baugrubenwände vor dem Ausschachten gegen Ausspülung und Einsturz zu sichern. Hierzu wird die Baugrube mit Spundwänden eingefast, die eingerammt werden. Die Fugen der Spundwände müssen dicht schließen, um nach Aushub ein Durchfließen von Wasser, namentlich aber ein Durchschwemmen von Boden zu verhüten.

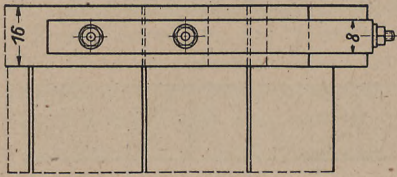
Die Spundwände werden — wie der Einbau trockener Baugruben — möglichst gegeneinander abgesteift unter Verwendung von Holmen und Steifen. Die Rammtiefe abgesteifter Spundwände unter Baugrubensohle ist etwa ein Drittel ihrer Gesamtlänge, jedoch nicht kleiner als 1,50 m. Nur bei Baugruben für den Leitungsbau, die nicht länger als etwa 3 Tage offen stehen, ist 1,0 m zulässig. Nicht abgesteifte Spundwände müssen nach Ausschachtung mindestens noch zur Hälfte im Boden stehen, erfordern jedoch sehr große Stärke.

Die Spundwände sind mit Doppelholmen (16/16...20/20) oder C-Stählen, die mit jeder vierten bis sechsten Bohle verschraubt werden, zu besäumen, um die ganze Wand zusammenzuhalten und das Ausbrechen einzelner Bohlen zu ver-

Das Bauwerk wird unmittelbar gegen den Verzug und die stehenbleibenden Haupttürstöcke betoniert, so daß diese verloren sind. Die Absteifhölzer der Türstöcke werden erst herausgenommen, wenn der Beton erhärtet ist, und dann die Löcher ausbetoniert.

Stollen werden, falls sie nicht an einem Berghang ausmünden, im Stadtgebiet also in der Regel, von lotrechten, „saigeren“, Schächten aus in Angriff genommen. Der Abstand zwischen je zwei Schächten

hindern (Bild 151, 152). Die Stöße der Einzelholme werden gegeneinander versetzt, an den Ecken werden sie durch stählerne Laschen miteinander verbunden (Bild 54).



Ist die Baugrubenwand über dem Grundwasserspiegel verschalt und abgesteift, so muß die einzuschlagende Wand so weit vor die Verschalung gesetzt werden, daß sie der Rammbar, ohne die Verschalung zu streifen, mittig treffen kann.

**a) Stülpwände**

Bei sehr geringem Wasserandrang und einer Baugrubentiefe bis 1,5 m unter Grundwasserspiegel genügen zwei Reihen Bohlen (4...5 cm stark), deren eine die Fugen der anderen deckt.

Entweder werden beide Bohlenreihen zusammen eingeschlagen und dazu die Bohlen, damit sie nicht voneinander abgetrieben werden, einseitig zugeschärft (Bild 55), oder es werden die Bohlen der einen

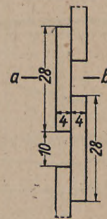
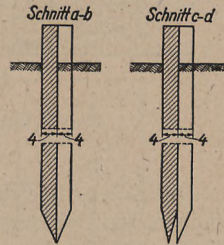


Bild 55. Einseitig zugeschärfte Stülpwandbohlen

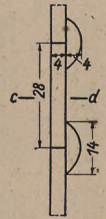


Bild 56. Stülpwand mit Fugendeckung durch Schwarten

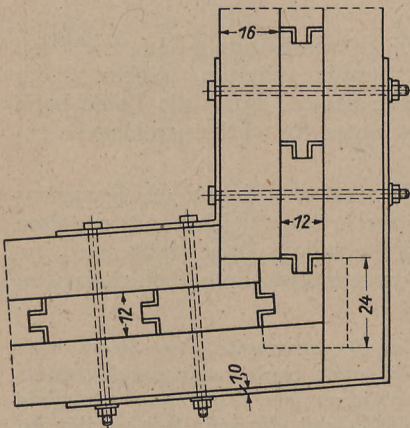


Bild 54. Eckverbindung von Spundwand-Saumzangen durch Stahllaschen

Reihe mit symmetrischer Schneide zuerst gerammt und hinter die Fugen Schwarten gesetzt, die einseitig zugeschärft sind, damit sie an die erstgeschlagenen angetrieben werden (Bild 56).

**b) Holzspundwände**

Einen wesentlich dichteren Abschluß ermöglichen Bohlen ( $\geq 20$  cm breit) mit Nut und Feder.

Zu Spundbohlen eignet sich am besten frisches Kiefernholz. Trockenes Holz muß vor dem Rammen einige Tage in Wasser gelegt werden, sonst spaltet es sich leicht; auch wirft sich die Spundwand, wenn das Holz erst im Boden quillt.

Die Bohlenstärke wird für 2,0 m Bohlenlänge zu 6 cm, für jedes weitere Meter 2 cm größer bemessen. Von 4 m Bohlenlänge ab beträgt die Stärkenzunahme nur noch 1 cm.

Am gebräuchlichsten ist die Quadratspundung (Bild 57), da sie am dichtesten ist. Für schwache Bohlen und nicht zu starken Wasserandrang kann auch die einfachere Gratspundung (Bild 58) angewandt werden.

Bei der Quadratspundung beträgt die Stärke und Höhe der Feder  $\frac{1}{3}$  der Bohlenstärke, bei Bohlen über 15 cm die Federhöhe aber nur 5 cm. Die Nut soll dagegen,

um beim Rammen ein Auseinandertreiben der Bohlen möglichst zu verhüten, 3...4 mm breiter und 2...4 mm flacher (Bild 57) sein, damit sie von der Feder (frisches Holz!) ganz ausgepreßt und ausgeräumt wird, was noch durch meißelartiges Unterschneiden der Feder am unteren Ende unterstützt werden kann.

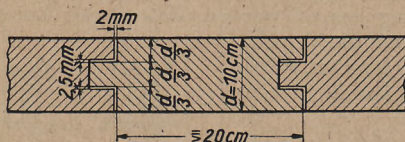


Bild 57. Quadratspundung

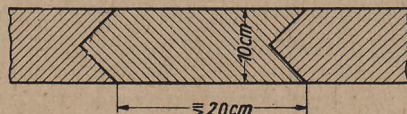


Bild 58. Gratspundung

Die Schneide der Spundbohlen (Bild 59) wird zwischen dem Ein- und Dreifachen der Bohlenstärke um so schmaler, also stumpfer gehalten, je schwerer der Boden zu durchrammen ist. Sie erhält eine Schmiege, damit die Bohle beim Rammen unbedingt gegen die vorhergeschlagene gepreßt wird.

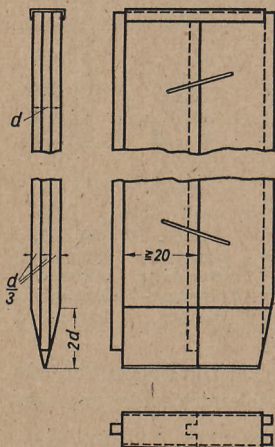


Bild 59. Zum Rammen fertiges Spundbohlenpaar

Die Bohlenköpfe werden während des Rammens gegen Zersplittern durch einen leicht aufgenagelten Flach- oder C-Stahl geschützt. Dabei faßt man, um an Rammarbeit zu sparen, zwei Spundbohlen zusammen (Bild 59).

Ein Brennstempel an der Innenseite, etwa 30 cm unter dem Kopf, ermöglicht auch noch nachträglich festzustellen, ob die Bohle wirklich ganz eingerammt und nicht etwa wegen schlechten Ziehens abgeschnitten worden ist.

An den Ecken der Baugrube werden Eckpfähle — teilweise mit Nuten beiderseits — (Bild 54, 149) erforderlich; sie sind gewöhnlich von quadratischem Querschnitt, doppelt so stark und 0,5...1,0 m länger als die Spundbohlen. Für stumpfe und spitze Ecken wird eine Schmiege angeschnitten und mit Nut versehen (Bild 54).

In sehr steinigem Boden sind Holzbohlen nicht zu verwenden.

Zeigen sich beim Ausschachten und Auspumpen der Baugrube klaffende Fugen in der Spundwand, so werden sie mit Werg ausgestopft und mit Leisten übenagelt.

Die Absteifung der Spundwände wird entsprechend dem Höherwachsen der Grundbauten und der sich anschließenden Verfüllung wieder herausgenommen. Auch etwaige Holme werden nach Verfüllung der Baugrube als nunmehr zwecklos wieder abgenommen. Doch dürfen die Holzspundwände selbst nicht wieder herausgezogen werden, weil durch das Zuschlännen der entstehenden Hohlräume ein Setzen des Untergrundes stattfinden könnte; sie sind vielmehr, soweit sie hinderlich sein sollten, abzusägen (Bild 149).

## c) Einrammen der Spundwände

Das Einrammen der Spundwände erfolgt, nachdem die Baugrube bis zum Grundwasser ausgeschachtet ist.

Zum Einrammen der Spundbohlen werden auf der Sohle der Ausschachtung zwei Führungszangen (Bild 60 und 61) verlegt und durch Bauklammern oder Holzstücke und Schraubenbolzen im Abstand der Spundwandstärke gehalten. Gegen Verschieben werden sie durch Verbolzen mit dem Eckpfahl oder einem besonderen, 1,0 m langen Pfahl und durch kurze Seitenpfähle gesichert.

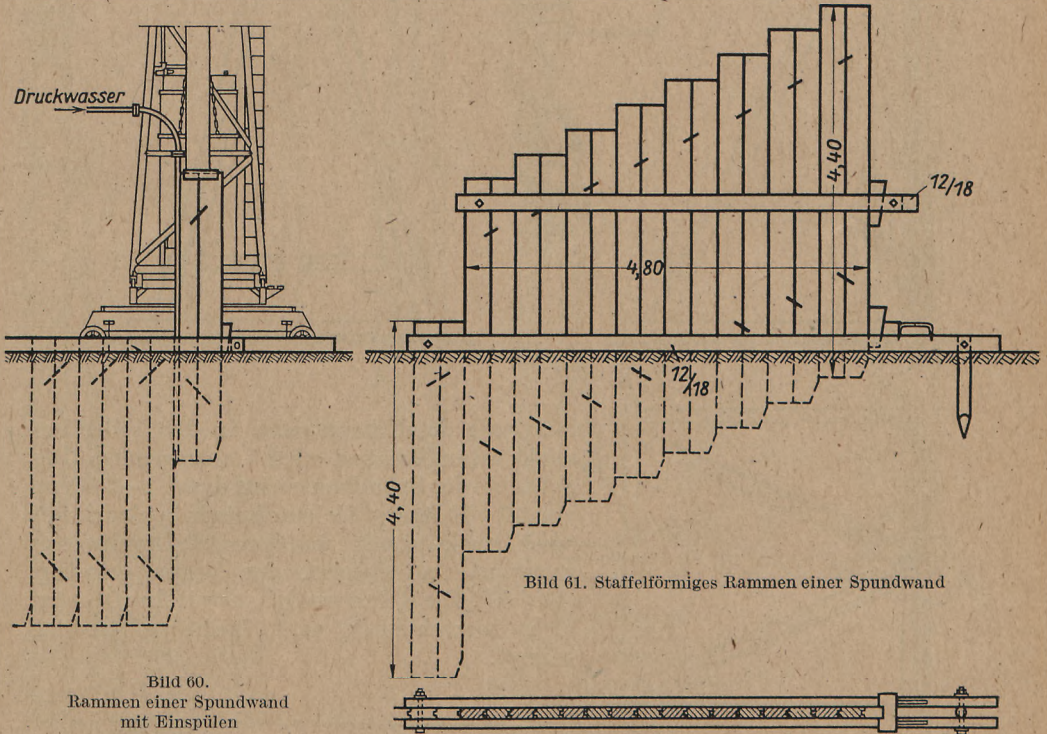


Bild 60.

Rammen einer Spundwand  
mit Einspülen

Bild 61. Staffelförmiges Rammen einer Spundwand

Zwischen den Zangen wird ein verklammertes Bohlenpaar „Nut voraus“ angesetzt und mit einem Keil gegen das vorhergehende Paar angedrückt. Hierauf wird es möglichst auf ganze Länge eingerammt (Bild 60), um ein häufiges zeitraubendes Verschieben der Ramme zu vermeiden, was erforderlich ist, wenn die Bohlen staffelförmig gerammt werden (Bild 61). Die staffelförmige Rammung empfiehlt sich, falls durch Hindernisse im Boden ein Ausweichen der Bohlen zu befürchten ist. In diesem Falle bietet diese Rammung etwas größere Sicherheit durch die gegenseitige längere Führung der benachbarten Bohlen.

Das Eintreiben der Bohlen wird durch „Einspülen“, wobei nur leicht gerammt zu werden braucht, in Sand, Kies  $\leq 2$  cm, lehmigen Sand sehr erleichtert, in Schwimmsand vielfach erst ermöglicht. Doch ist das Einspülen wegen der Auf-

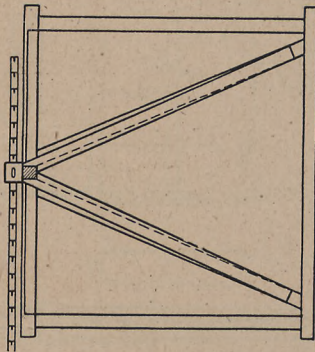
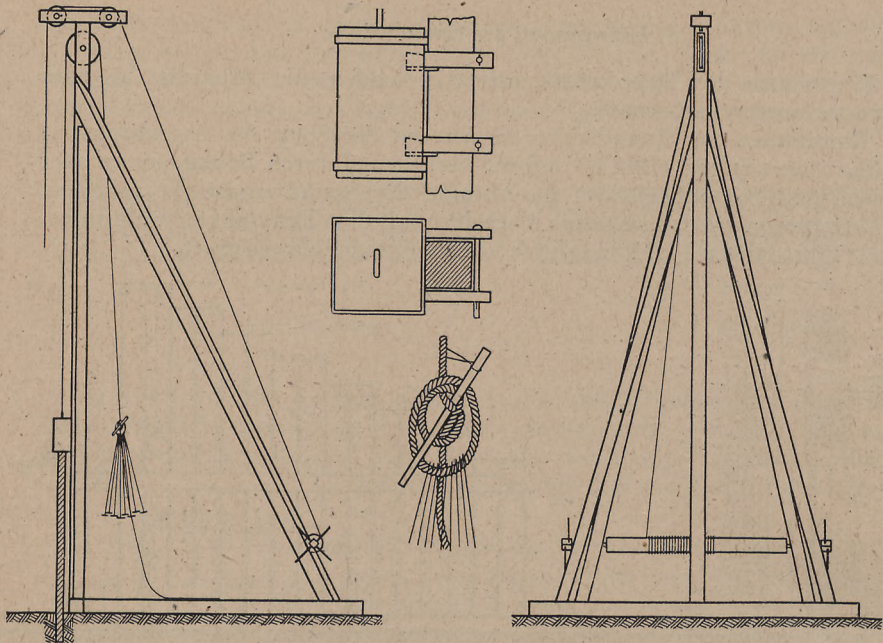


Bild 62. Handzugramme

Längere Spundbohlen werden etwa in der Mitte noch durch zwei lose Führungszangen (Bild 61) zusammengehalten, lange Einzelbohlen durch um den Mäkler geschlungene Ketten gegen Federn und Ausknicken gesichert. Bolzenlöcher in den Spundbohlen sind nachträglich durch Holznägel zu schließen.

lockerung des Untergrundes in der Nähe bestehender Bauten nicht anzuwenden. Der Schneide der Spundbohle wird durch 1...2 Röhre von 40...70 mm  $\varnothing$  die durch einen Schlauch mit einer Druckpumpe verbunden sind, Druckwasser zugeführt und dadurch der Boden gelockert (Bild 60). Die Röhre werden, damit ihre Öffnung nicht zugeschlammmt wird, leicht auf und ab bewegt.

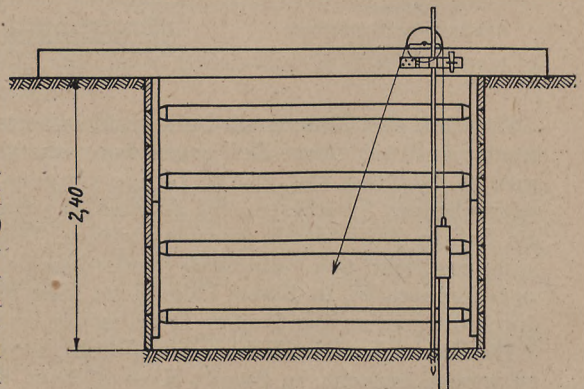


Bild 63. Nadelramme

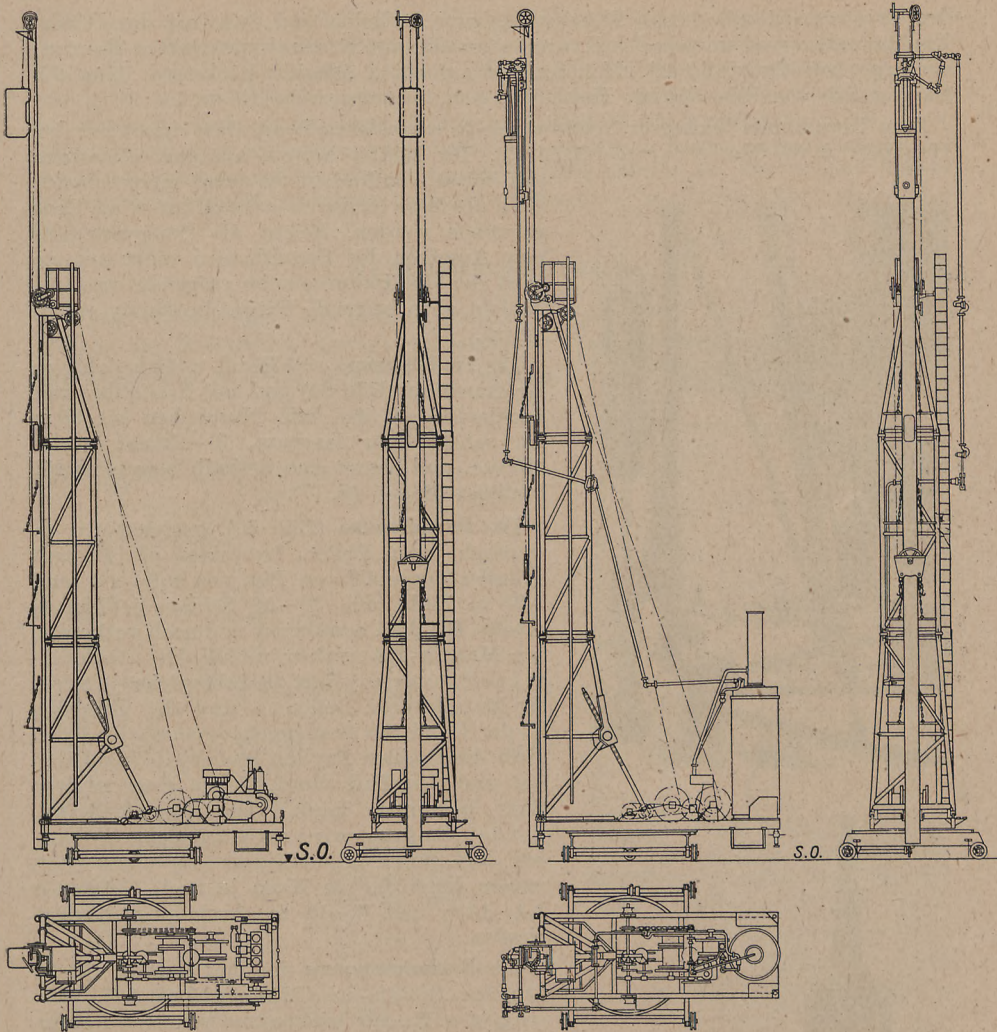


Bild 64. Freifallramme mit Motorenantrieb  
(Menck & Hambrock G. m. b. H., Altona-Hamburg)

Bild 65. Menck-Rohrgerüstramme für Dampfantrieb  
mit Menck-Rambbär mit halbautomatischer Steuerung  
(Menck & Hambrock, G. m. b. H., Altona-Hamburg)

In Baugruben, deren Wände über dem Grundwasserstand durch Steifen gehalten werden, müssen diese, um die Spundbohlen ansetzen zu können, umgesetzt und nach dem Einrammen wieder zurückgesetzt werden.

Zum Eintreiben der Bohlen und Pfähle dienen R a m m e n, heute weitaus am meisten solche mit Kraftantrieb.

Die **Handzugramme** besteht aus einem Gerüst, das über der Rammstube steht. An der Läuferrolle (Mäkler) hat der Bär die Führung. Er hängt an dem Rammtau, das über die Rammrolle am Kopf des Mäklers läuft. Darüber befindet sich

der Trietzkopf mit einem Flaschenzug zum Aufholen und Ansetzen der Pfähle. Am Rammtau sind mittels des Kranztaues die auf Knebel gewickelten Rammstränge befestigt (Bild 62). Man rechnet auf einen Arbeiter höchstens 15 kg des Bärgechts von 100...300 kg. Hubhöhe 1,0 m, ausnahmsweise 1,5 m.

Zum Einrammen leichterer Spundwände in schmäleren Baugruben eignet sich bei Handbetrieb die Nadelramme (Bild 63). Ihr Mäkler besteht aus zwei Gasrohren

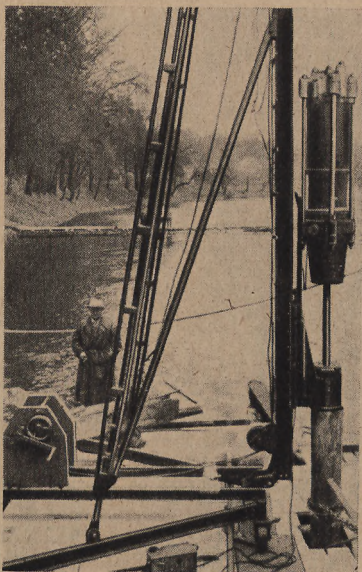


Bild 66.  
Demag-  
Explosions-  
pfahlramme

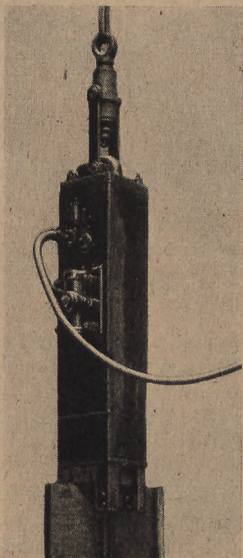


Bild 67.  
Ramm-  
hammer  
(Demag A G.,  
Duisburg)

mit Spitze, den Nadeln, die durch entsprechende Ösen des Bärs hindurch etwa 50 cm in die Erde getrieben werden. Reicht die Baugrubentiefe zum Ansetzen der Spundbohlen nicht aus, so wird der die Rammscheibe tragende und die Nadeln oben haltende Träger bockartig unterstützt.

Die **Freifallramme**, mit Hand- oder beliebigem Kraftantrieb (Bild 64) und mit Freifallbär mit nachlaufendem Seil läßt Nutzhöhen bis 35 m zu, schlägt nur langsam, 3...12 mal in der Minute, und eignet sich deshalb besonders für bindigen Böden (S. 17).

Die **Dampf-ramme** (Bild 65), geeignet für so ziemlich jeden Boden, hat einen als Dampfzylinder ausgebildeten Bär von 0,8...9 t und 1,25 m Hub, der 30...50 Schläge je Minute macht. Bei dem bewährten und noch verbesserten Menck-Rammbär mit halbautomatischer Steuerung liegt die Schlagfolge — wichtig für schweren Boden — und die Hubhöhe in der Hand des Bedienungsmannes, der jeden Hub durch einen Zug am Steuerseil einzuleiten hat und den Hub durch Ziehen eines zweiten Seils begrenzen kann. Die Menck-Rohrgerüst-Ramme wird auch mit Schnellschlagbär (vgl. unter „Rammhammer“) ausgerüstet, zudem kann sie als Kran je nach Größe für 1,4...15 t und 7...18 m Ausladung benutzt werden.

Die **Explosionsramme** der Deutschen Elektromaschinen- und Motorenbau A G., Eßlingen a. N., für leichte und mittlere Rammarbeiten hat einen Bärzylinder von 100...450 kg Gewicht, der in der Minute 30...50 Schläge von 0,4...0,8 m Hub ausführt. Sie ist ein Explosionsmotor, dessen Kolbenstange auf der Spundbohle oder dem Pfahl (Bild 66) aufsitzt und dessen Zylinder den Schlag ausübt. Bei leichten Rammarbeiten wird frei von Hand gerammt, bei größeren empfiehlt es sich, ein leichtes Rammgerüst zu verwenden.

Bei dem **Rammhammer** (Bild 67) mit Dampf- oder Preßluftantrieb, ruht im Gegensatz zu den Fallrammen die Schlagplatte ständig auf den einzutreibenden Bohlen oder Pfählen, denen

von einem im Hammer arbeitenden Schlagkolben rasch aufeinanderfolgende Schläge (bis 130 je Minute) erteilt werden. Das Gewicht des Rammhammers der Demag-Union, Duisburg, beträgt je nach Größe 1950...6700 kg, sein höchster Hub bis 0,40 m. Er eignet sich besonders für Kies und Sand, aber auch für bindigen Boden bis etwa 8 m Tiefe, treibt sogar Stahlspundbohlen durch leichten Fels. Seine verhältnismäßig leichten Schläge verursachen keine starken Bodenerschütterungen und lassen Rammungen auch in der Nähe bestehender Bauten zu. Da er ohne Rammgerüst arbeiten kann, ist er auch bei stark eingegengten Platzverhältnissen verwendbar.

**d) Stahlbetonspundwände**

Wenn Spundwände, die dem dauernden Schutze eines Bauwerks dienen, der Gefahr der Zerstörung infolge wechselnden Wasserstandes, Höherführung der Spundwand über NW., Angriffe des Bohrwurms oder anderer holzerstörender

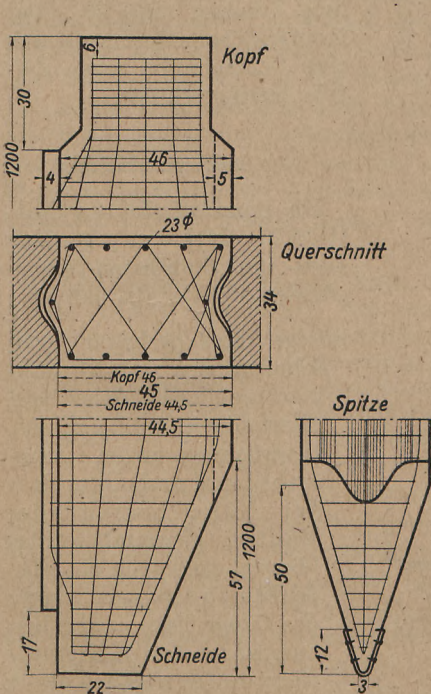


Bild 68. Stahlbetonspundbohle

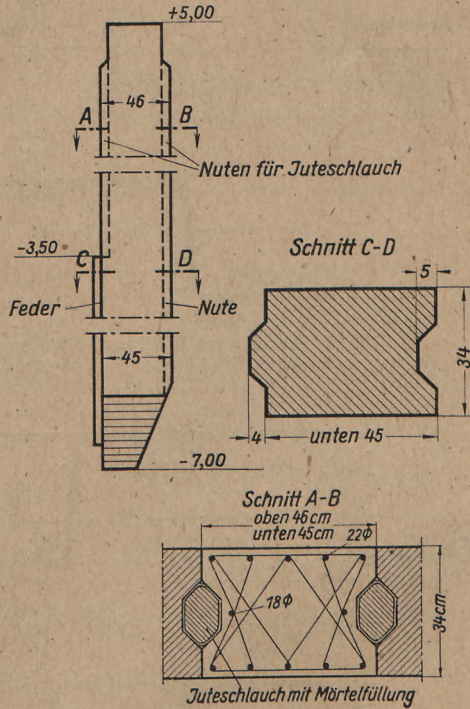


Bild 69. Stahlbetonspundbohle

Tiere ausgesetzt sind, dürfen keine Holzspundwände verwandt werden. Sie können durch Stahlbetonspundbohlen ersetzt werden. Diese sind jedoch gleichfalls nicht verwendbar, wenn der Untergrund oder das Wasser stark betonschädliche Teile enthält oder der Untergrund stark steinig ist.



Zwischen der Herstellung und dem Rammen der Stahlbetonspundbohlen muß eine genügend lange Erhärtungszeit (bis zu 6 Wochen) liegen. Die Abmessungen der Bohlen richten sich nach der statischen Berechnung (vgl. Berechnung der Stahlbetonrammpfähle, S. 86). Bei großen Ausmaßen werden die Bohlen schwer und unhandlich.

Ausbildung und Bewehrung zeigt Bild 68. Statt der rechteckigen Nut und Feder bei Holzspundwänden ist hier eine wulstartige Ausführung angeordnet. Die Spundbohle der Bild 69 hat dagegen in ihrem unteren Drittel trapezförmige Nut und

Feder, während in den oberen zwei Dritteln die beiderseitigen trapezförmigen Nuten durch Juteschläuche mit Mörtelfüllung gedichtet sind.

Bei größerem Boden muß der Fuß eine Stahlblechummantelung erhalten (Bild 68). Der Kopf wird beim Rammen durch eine Schlaghaube gegen Zerstümmern geschützt.

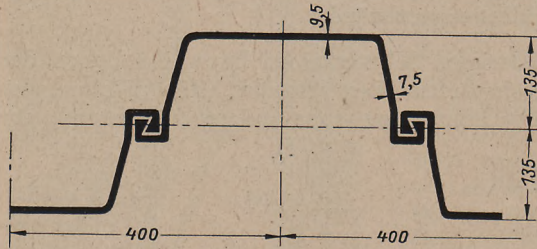


Bild 70. Larssen, Profil II (Dortmund-Hoerder Hüttenverein AG., Dortmund)

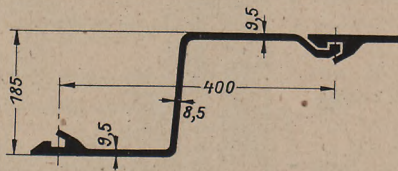


Bild 71. Hoesch, Profil II (Hoesch-Köln-Neuessen, Aktiengesellschaft für Bergbau und Hüttenbetrieb, Dortmund)

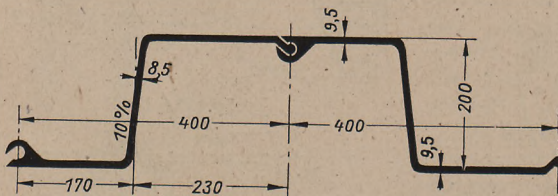


Bild 72. Klöckner, Profil II (Klöckner-Werke AG., Osnabrück)

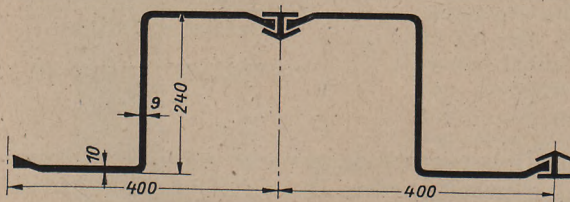


Bild 73. Krupp, Profil III (Friedr. Krupp AG., Friedrich-Alfred-Hütte, Rheinhausen [Niederrhein])

### e) Stahlspundwände

Die Spundwände aus Stahl (Bild 70...74) haben gegenüber Holz- und Stahlbeton-Spundwänden den Vorzug, daß sie

infolge ihres geringen Querschnitts sich leicht einrammen lassen, daher beim Einrammen geringere Bodenerschütterungen verursachen und deshalb noch in der Nähe bestehender Bauten gerammt werden können, aber auch ohne Bedenken ob etwaigen Setzens des Baugrundes wieder herausgezogen und mehrmals verwendet werden können (soweit sie nicht zum Schutze des Bauwerks in der Erde bleiben),

infolge ihrer dübelartigen Schlösser sehr dicht sind und nur bei ganz schweren Hemmnissen im Boden undicht werden,

infolge ihrer hohen Festigkeit in steinigem Boden nicht so leicht beschädigt werden und selbst Holz, altes Mauerwerk, Beton, leichten Fels durchschlagen.

Als Rostschutz erhalten auf Wunsch der Stahl einen Kupferzusatz bis 0,5% oder die Bohlen einen Asphaltanstrich. Die Lebensdauer von Cu-Stahl wird auf 100 Jahre, die der Sonderstähle der Werke noch höher geschätzt.

Das Rammen erfolgt ähnlich wie bei Holzspundwänden, worüber die Drucksachen der Werke ausführliche Auskunft geben. Meist werden die Bohlen der Wellenprofile, zwei zusammengezogen, geliefert und so „Wulst voraus“ gerammt. Um bei den Bohlen mit offenen Klauen ein Eindringen des Bodens von unten zu verhindern, kann man bei dem ersten Bohlenpaar (bei Larssen bei jedem Bohlenpaar) die offene Klaue durch einen Dorn schließen. Andernfalls eingedrungener Boden wird jedoch fast immer bei der Rammung der folgenden Bohle wieder ausgeräumt. Das Schloß der Kruppbohlen ist am unteren Ende einseitig zugeschweißt, so daß es von der Bohle bei der Rammung mitgenommen wird. Peine zieht eine Bohle nur mit den beiden Schloßbeisen des einen Endes zusammen, wonach die Bohle mit diesen in die Wulste der vorgerammten Bohle eingefädelt und „Wulste voraus“ gerammt wird.

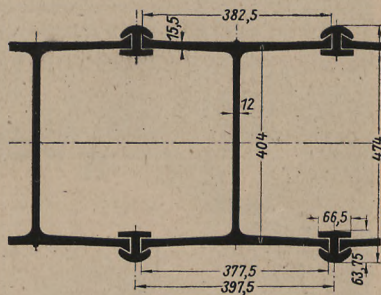


Bild 74. Peine, Profil 40 S  
(Ilseder Hütte, Abtlg. Peiner Walzwerk, Peine)

Die Flansche der Peiner Bohle sind um 5 mm verschieden breit, der breitere ist durch einen kleinen Wulst in der Mitte gekennzeichnet. Die Flansche müssen sich in gerader Flucht abwechselnd folgen und ermöglichen, falls die Wand etwas ausgewichen ist, durch Aneinanderreihen einiger gleich breiter Flansche wieder in die Flucht zu kommen.

Beim Rammen werden die Stahlbohlen durch eine unten dem Bohlenquerschnitt angepaßte, oben mit Hartholz ausgekeilte Rammhaube aus Stahlguß (Bild 75) gegen Umkrepfen geschützt. Als Rammen werden mit Vorliebe die schnellschlagenden Rammhämmer (S. 39) mit kleinem Bärgewicht benutzt.

Als Holme dienen angeschraubte  $\square$ -Stähle.

Zum Herausziehen der Stahlbohlen wird ein Pfahlzieher (Demag-Union; Hoesch) verwendet. Federnd aufgehängt, übt er auf die mit seiner Greiferklaue verbolzte Bohle mittels einer Dampfwinde über einen mehrrolligen Flaschenzug einen dauernden Zug und gleichzeitig durch seinen nach oben schlagenden Rammzylinder 160...230 Rucke in der Minute aus.

Zum Abschneiden der Stahlbohlen unter Wasser werden autogen wirkende Unterwasserschneidbrenner (Dortmunder Union; Hoesch in Dortmund) benutzt, die von Tauchern zu handhaben sind.

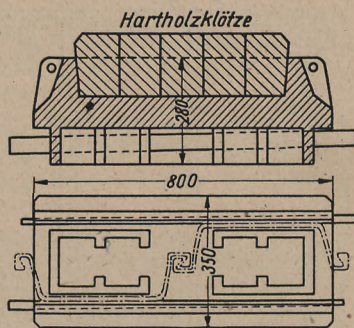


Bild 75. Doppelrammhaube für Larssen, Profil II  
(Dortmund-Hoerder Hüttenverein AG., Dortmund)



Bild 76. Spundwandbaugrube für eine Ufermauer

**f) Aussteifen der Spundwandbaugruben**

Die Absteifung der Spundwandbaugruben ist die gleiche wie bei den Baugruben im Trocknen mit lotrechter Schalung.

Eine schmale Spundwandbaugrube, in der die Wände wie bei der Baugrubefür Rohrleitungen (Bild 36) gegeneinander abgesteift sind, zeigt das Bild 76. In einer rechteckigen Baugrube können die Steifen

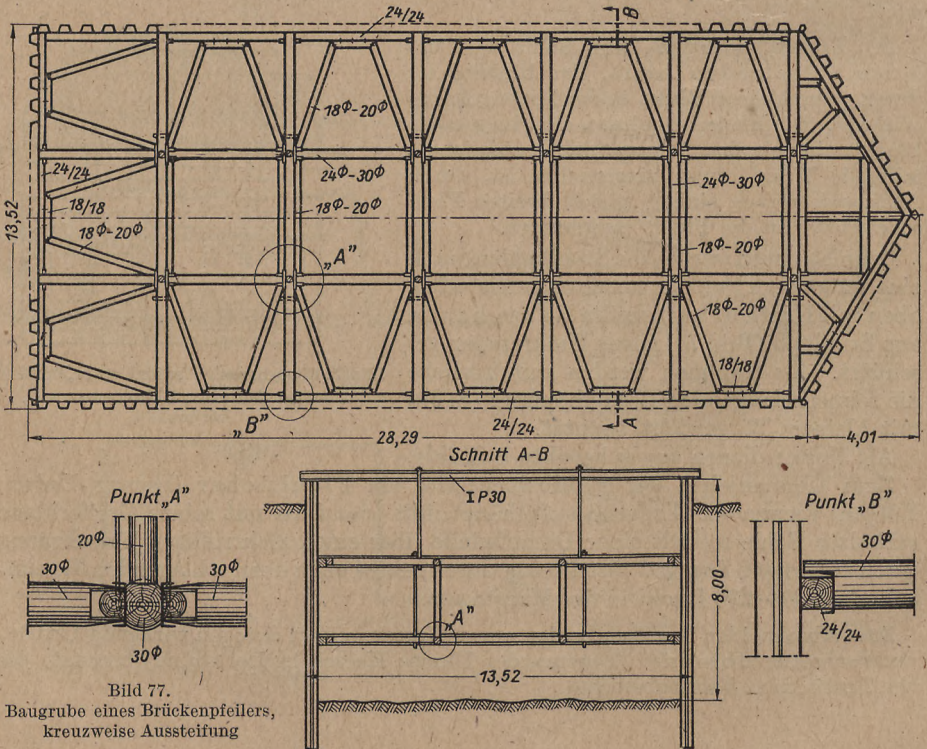


Bild 77. Baugrube eines Brückenpfeilers, kreuzweise Aussteifung

kreuzweise angeordnet werden (Bild 77), wobei die Steifen einer Richtung gestoßen werden müssen. Um ein Eindringen dieser gestoßenen Steifen in die durchlaufenden zu verhüten, sind hier kurze Abschnitte von C-Stahl eingebaut, ebenso wie bei dem Stoß der Steifen gegen die Holme. Zwischen den Kreuzsteifen sind noch Sprengwerke angeordnet, wodurch in den mittleren Steifenfeldern mehr Arbeitsraum zur Verfügung steht.

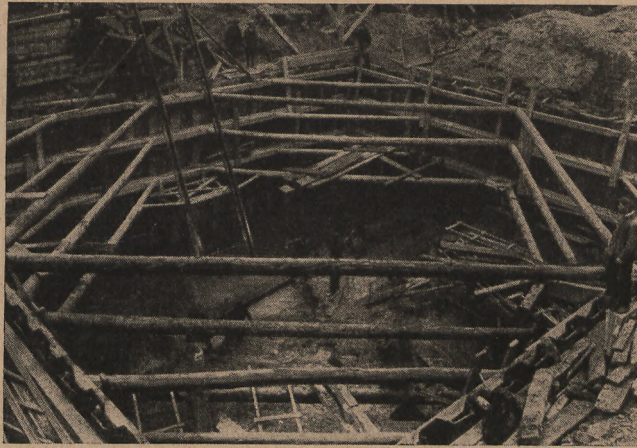


Bild 78. Baugrube für ein Brückenwiderlager, Aussteifung übereck

Die obere Absteifung ist an IP 30, die über die Spundwände gelegt sind, die untere an der oberen Absteifung aufgehängt. Außerdem sind beide Absteifungen gegeneinander versteift. In der rechteckigen, nahezu quadratischen Baugrube für ein Brückenwiderlager (Bild 78) ist eine Aussteifung übereck angeordnet, die im Vergleich mit der kreuzweisen Aussteifung erheblich mehr Arbeitsraum freiläßt. Bei großer Baugrubenbreite reichen Holzsteifen nicht aus. Die Verwendung von Fachwerkstahlstützen (nach den Ecken hin verjüngt gemäß der Knickbeanspruchung) zeigt Bild 79. Statt derartiger Stahlstützen können auch Stahlbetonstützen als Steifen eingebaut werden.

Können die Baugrubenwände nicht gegeneinander abgesteift werden, so müssen Schrägsteifen angeordnet werden (Bild 80). Hier erfolgte der Einbau der Steifen in Schlitzen, die vor dem Gesamtaushub hergestellt wurden. Der Bodenkern,

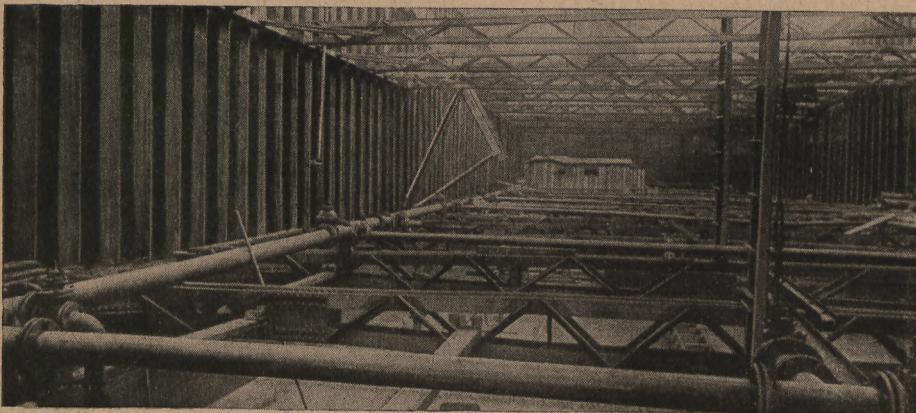


Bild 79. Untergrundbahn-Baugrube mit Fachwerkstahlstützen abgesteift

gegen den die Spundwand abgestützt wurde, wurde erst ausgehoben, nachdem die Bauwerksmauern betoniert waren und so den Spundwänden Halt gaben. Selbstverständlich ist auch eine rückwärtige Verankerung der Spundwände entsprechend Bild 43 möglich.

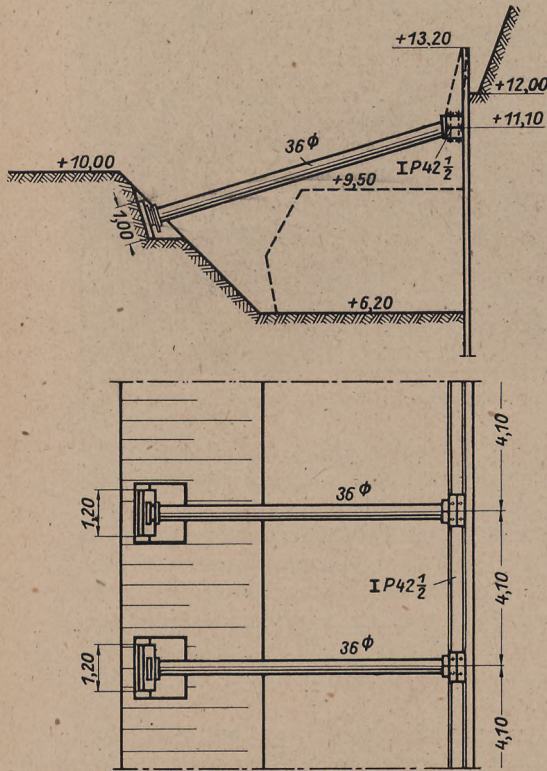


Bild 80. Schrägsteifung einer großen Baugrube

#### a) Spundwandumschließungen, ihre Absteifung und Abdichtung

Zur Verringerung des Wasserandranges und zur Verbilligung der Wasserhaltung wird man, namentlich in stark durchlässigem Boden (Kies, größerem Sand), als Umschließung eine tiefgreifende Spundwand bevorzugen, jedenfalls wenn eine solche schon sowieso als endgültiger Abschluß des Bauwerks vorgesehen ist.

Holzspundwänden, die in tieferem Wasser schwer dicht zu schlagen sind, werden von etwa 4 m Wassertiefe ab und immer in steinigem Boden Stahlspundwände vorgezogen.

### III. Im offenen Wasser

Zur Gründung von Bauwerken in oder an offenem Wasser ist in der Regel ein wasserdichter Baugrubenabschluß erforderlich, der bei Uferbauten an den Enden nicht zu knapp in das Ufer hineinzuführen und bei durchlässigem Boden durch eine Spundwand an der Landseite zu vervollständigen ist.

Die Umschließungen müssen in und an großen, dem Wind ausgesetzten Wasserflächen in Berücksichtigung des Wellenschlags 0,3...0,5 m über den während der Bauzeit zu erwartenden höchsten Wasserstand reichen.

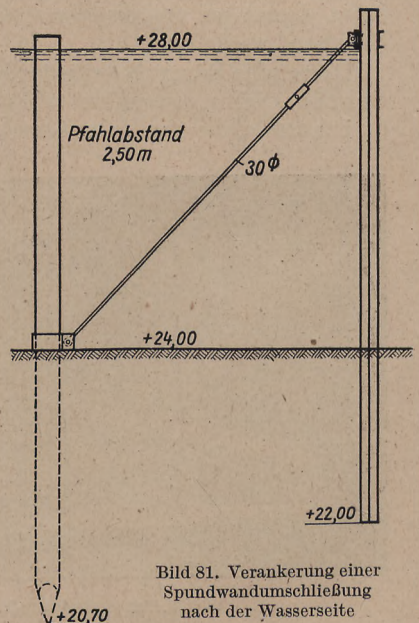
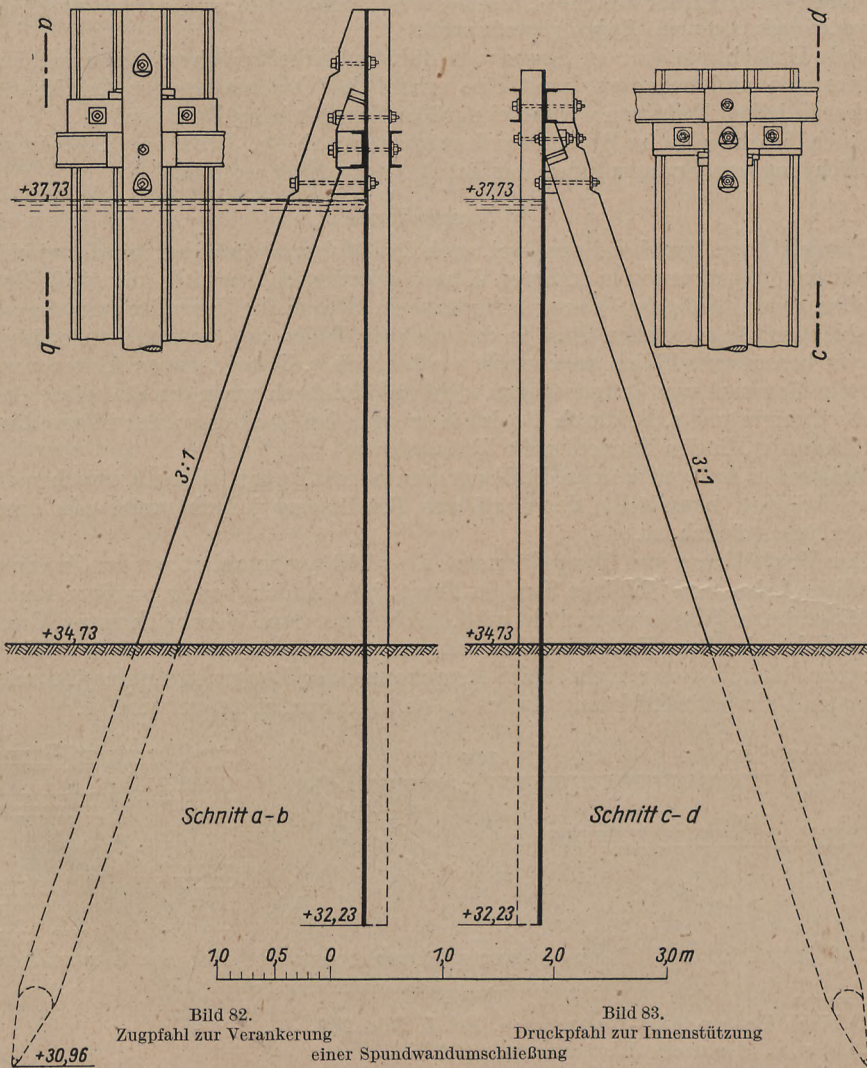


Bild 81. Verankerung einer Spundwandumschließung nach der Wasserseite

Bei geschlossenen Baugruben ist die Absteifung die gleiche wie unter B, II, f dargestellt. Freistehende Wände ohne die Möglichkeit gegenseitiger Absteifung können bis höchstens 2,5 m Wassertiefe ohne Absteifung angeordnet werden. Bei höherem Wasserdruck ist es wirtschaftlicher, sie wenigstens einmal abzustützen, da sie ohne jede Abfangung nur einseitig im Boden eingespannt sind und daher große Rammtiefe und Stärke erfordern. In diesem Fall können sie nach außen durch Anker und Ankerpfähle (Bild 81) oder durch Zugpfähle (Bild 82) verankert werden, wodurch die Baugrube frei bleibt.

Ist die Verankerung wegen Platzmangels oder Behinderung des Schiffsverkehrs nicht durchführbar, so bleibt noch die Innenstützung der Wände durch



Schrägpfähle (Bild 83)<sup>1)</sup> oder Pfahlböcke, die aber eine Vergrößerung der Baugrube bedingt.

Undichtigkeiten und klaffende Fugen in der Spundwand lassen sich oft schon von der Baugrube aus schließen, in Holzspundwänden durch Ausstopfen mit geteertem Werg (Kalfatern) und Übernageln mit Brettchen, in Stahlspundwänden durch Hinein- und Dahinterstopfen von Zementmörtel, dem ein Schnellbindemittel zugesetzt ist. Von der Wasserseite kann die Abdichtung unterstützt oder auch allein schon dadurch erreicht werden, daß feiner Sand, Lehm, ungelöschter Kalk, feine Kesselasche, Sägespäne, Fichtennadelgrus, Gerberlohe, Pferdemit durch die Wasseradern vor die Löcher geschwemmt wird und diese zusetzt. Öffnungen über der Gewässersohle lassen sich von außen abdichten durch Vorhängen beiderseits geteerten Segeltuches, das noch ein Stück auf der Sohle, beschwert mit Sandsäcken, aufliegt und durch den Wasserdruck gegen die Fugen gepreßt wird.

Jede Undichtigkeit in der Spundwand führt zu Arbeiterschwernissen und Verzögerungen und bedeutet damit eine erhebliche Verteuerung der Ausführung. Daher in jedem Falle von vornherein größte Sorgfalt beim Rammen!

Auch die chemische Bodenverfestigung nach Dr. Joosten (S. 20) ist zur Abdichtung von Spundwänden mit Erfolg angewendet worden.<sup>2)</sup>

### b) Fangedämme

Fangedämme, bestehend aus zwei, auch drei Holzspundwänden mit dazwischen gefülltem Boden, waren in früheren Jahren erforderlich, um tiefe und große Baugruben gegen fließendes Wasser abzdämmen. Durch die Vervollkommnung der Stahlspundwände reichen diese in den meisten Fällen aus, so daß Fangedämme nur in besonderen Fällen angewandt werden, wie z. B. bei felsigem Untergrund, der ein Rammen von Spundwänden nicht zuläßt. Auch wenn die Standfestigkeit einer Spundwand z. B. durch Hochwasser oder bei Bauten an der Meeresküste gefährdet ist, finden Fangedämme Verwendung.

Bei großen Anlagen werden die Fangedämme mit Betonfüllung zwischen den Spundwänden hergestellt, deren spätere Beseitigung jedoch meist nur durch Sprengung möglich ist.

Zur Verfüllung von Fangedämmen, die nicht ausbetoniert werden, kommen sandiger Lehm und lehmiger Sand in Frage, jedoch nicht reiner bindiger Boden, da dieser unter Wasser nicht dicht wird. Auch reiner Sand lagert sich unter Wasser sehr dicht ab. Dem Fuß des Fangedammes ist ganz besondere Sorgfalt zu widmen, damit dieser nicht beim Auspumpen der Baugrube unterspült wird. Hier sind als beste Dichtungstoffe die oben genannten zu verwenden.

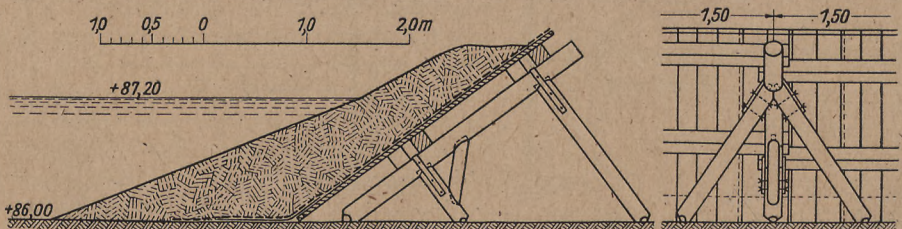


Bild 84. Schrägbock-Fangedamm auf felsigem Boden

1) Nach Brennecke-Lohmeyer, Bd. I, Bild 206.

2) S. u. a. „Deutsche Wasserwirtschaft“ 1937.

Auf Fels und sehr steinigem Boden sind bis 1,5 m Wassertiefe Schrägböcke mit Bohlentafeln darauf (Bild 84) verwendbar, deren Fugen an der Sohle und am Stoß sich noch durch angenagelte Teerpappestreifen abdichten lassen.

Bei größeren Wassertiefen und felsigem Untergrund werden Zellenfangedämme<sup>1)</sup> angewandt. Seit Jahrzehnten nur in Amerika ausgeführt, werden sie bei großen Ausführungen jetzt auch von deutschen Firmen benutzt. Die Kreiszellenfangedämme (Bild 85 a) bestehen aus einzelnen geschlossenen Zylindern mit kreisförmigem Grundriß. Sie sind untereinander verbunden durch kleinere Verbindungszellen, deren Stärke etwa das 0,6fache des Durchmessers der Hauptzellen beträgt, so daß die Wand der Verbindungszelle senkrecht auf der Wand der Hauptzelle steht. Der Anschluß erfolgt durch Spezialbohlen, während im übrigen für beide Zellen Flachprofile gemäß Bild 86 verwandt werden, die nur Zugkräfte in Wandrichtung erhalten. Der Aufbau erfolgt um ein Gerüst und einen Führungsring (Bild 87). Um eine Erleichterung des Füllmaterials durch

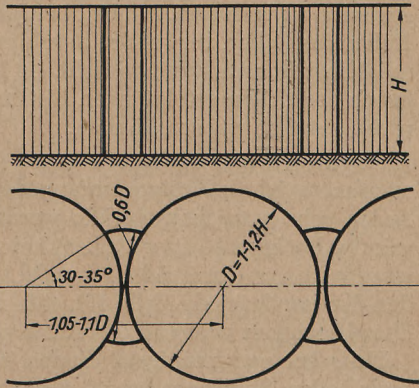


Bild 85 a. Kreiszellenfangedamm  
(Ansicht und Grundriß)

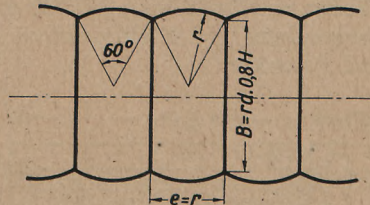


Bild 85 b. Segmentzellenfangedamm (Grundriß)

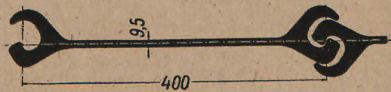


Bild 86. Union-Flachprofil 23,  
Gewicht 455 kg/m<sup>2</sup> Wand, Schloßzugfestigkeit 200 t/m

1) s. Die Bautechnik, Heft 1/2, 1943, Das Kraftwerk am Rio Negro in Uruguay, Dr. Ing. M. Arndt.

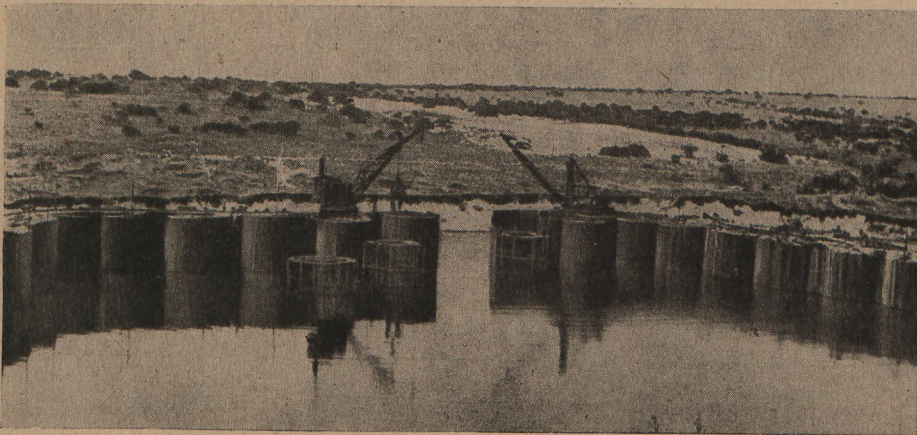


Bild 87. Zellenfangedamm



Auftrieb zu verhüten, erhält etwa jede 4. Bohle der Innenseite Sickerlöcher. Zum Füllen der Zellen verwendet man am besten ein Gemisch von Sand und Kies mit möglichst hohem Raumgewicht (in Rücksicht auf die Standsicherheit). Der Abbruch der Zellen erfolgt nach Entleerung des Füllmaterials, da sonst die Bohlen nicht gezogen werden können.

Segmentzellenfangedämme (Bild 85b) benötigen zwar weniger Spundwandmaterial als Kreiszellenfangedämme, jedoch haben sie den Nachteil, daß die Zellen sehr vorsichtig gefüllt werden müssen, damit die Trennwände (Spundwände, Fachwerke oder Anker) keinen zu großen einseitigen Druck erhalten. Es ist also immer eine größere Anzahl von Zellen gleichzeitig in Arbeit, während bei den Kreiszellen jede Zelle für sich vollständig gefüllt werden kann, so daß ihre Standfestigkeit während des Aufbaus größer ist.

Falls bei rammfähigem Boden zum Abschluß der Baugrube eine einfache Holz- oder Stahlspundwand nicht ausreicht, kann ein Kastenfangedamm Verwendung finden. Bild 88 zeigt einen Kastenfangedamm mit Holzspundwänden und Erdfüllung, Bild 89 unter Verwendung von Stahlspundwänden und Betonkern.

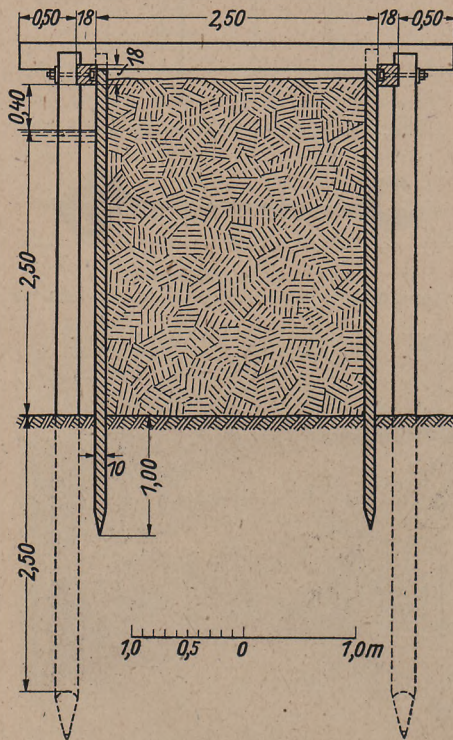


Bild 88.  
Kastenfangedamm aus Holz mit Erdfüllung

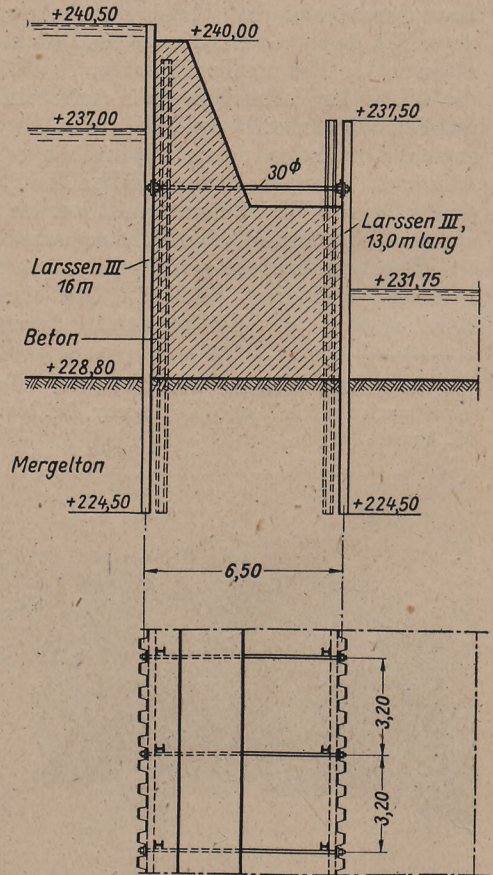


Bild 89. Kastenfangedamm  
mit Stahlspundwänden und Betonkern

Die Holzspundwände (Bild 88) sichern das Fortspülen des Füllgutes und die Unterspülung des Fangedammes. Sie werden am besten oben durch Querholme (nicht Zuganker) verbunden, da diese sowohl Zug wie Druck aufnehmen können, je nachdem die äußere Wand bei wenig wasserhaltigem Füllboden oder die innere bei wassergesättigter Füllung stärker auf Biegung beansprucht wird. Bei mehr als 2,5 m Wassertiefe werden zwischen Holzspundwand und Pfahl von oben her noch Holme unter Wasser eingebracht, so daß die Spundwände noch einmal abgestützt sind.

Die Breite der Kastenfangedämme bemißt man bis 2,5 m Wassertiefe gleich dieser, darüber zu etwa  $\left(\frac{h}{2} + 1,0 \dots 1,5\right)$  m ( $h$  Wassertiefe).

Doch verlangen Kastenfangedämme von größerer Höhe auf Grund der statischen Untersuchung oft noch eine Verankerung oder Abstützung nach Art der Bilder 81 ... 83.

An Dammbreite läßt ein abgestützter Betonfangedamm (Bild 90) <sup>1)</sup> erheblich sparen, da seine vorzügliche Abdichtung auch bei geringerer Stärke gewährleistet bleibt. Er empfiehlt sich besonders für einen sehr hohen Abschluß.

1) „Zentralblatt der Bauverwaltung“ 1927, Nr. 9, S. 84, Abb. 7.

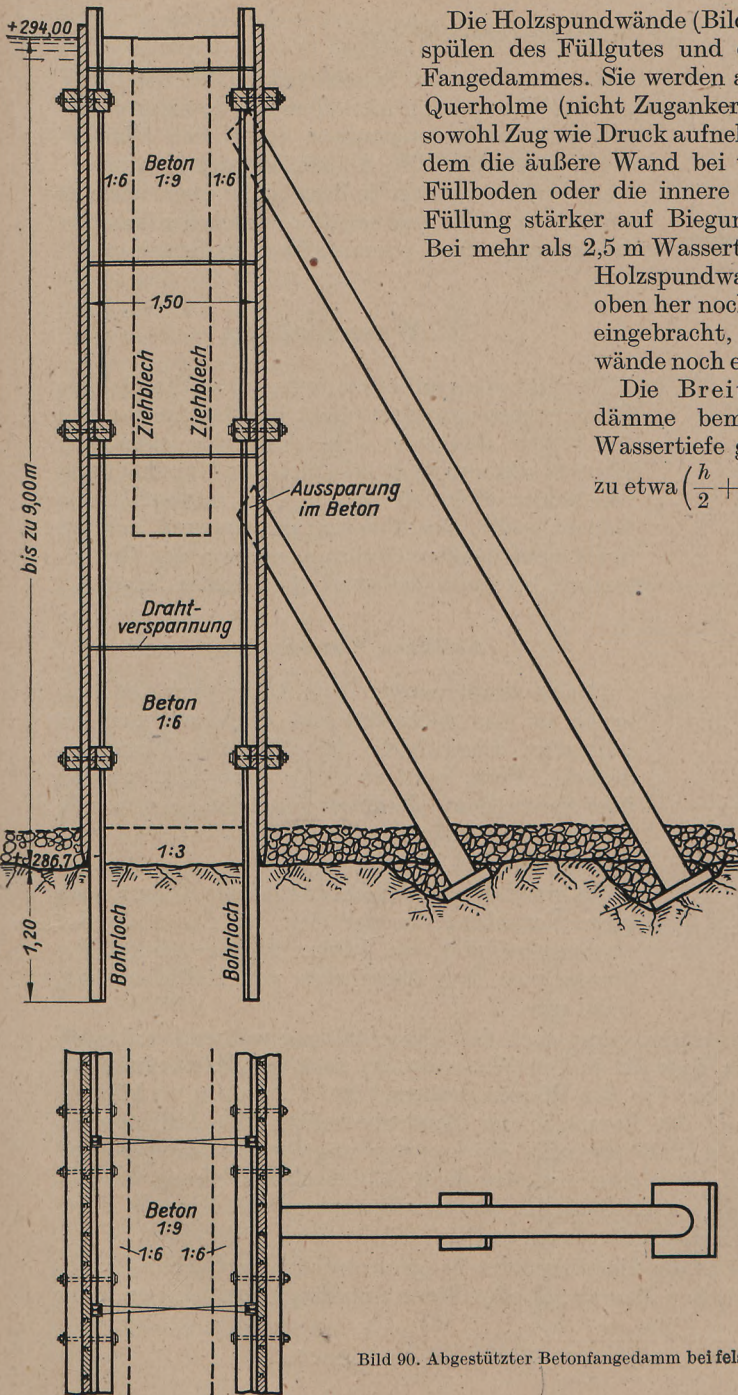


Bild 90. Abgestützter Betonfangedamm bei felsigem Untergrund

## c) Unterwasserarbeitskasten

Der Unterwasserarbeitskasten mit nur drei Seitenwänden (Bild 91)<sup>1)</sup> wird zum Ausbessern eines Bauwerks unter Wasser mit seiner offenen Seite gegen dieses gedrückt, nach Auspumpen durch den Wasserdruck angepreßt. Die Abdichtung der Kanten erfolgt durch aufgenagelte Teerstricke und vielleicht noch einen außen angenagelten, durch den Wasserdruck angepreßten wasserdichten Stoffstreifen.

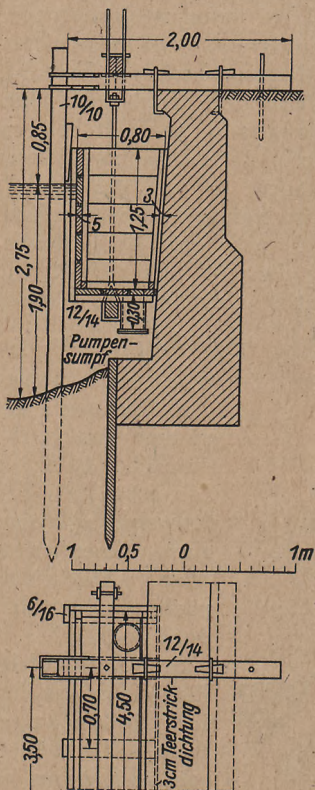


Bild 91.  
Unterwasser-Arbeitskasten

## IV. Wasserhaltung

Die Gründungsarbeiten unter dem Stande des Grundwassers erfordern nicht nur das Auspumpen des in der Baugrube über der Sohle stehenden Wassers, sondern auch, falls nicht die Umschließung vollständig dicht ist und in eine undurchlässige Schicht greift, das Abhalten des dauernd aus der Sohle aufsteigenden Grundwassers von den Grundbauten, bis diese genügend abgebunden haben.

## a) Offene Wasserhaltung

Das dauernde unmittelbare Auspumpen der Baugrube ist das nächstliegende Verfahren zur Bewältigung schwächeren bis mittleren Wasserandrangs. Doch kann es nicht angewandt werden über feinem Sand, da dieser durch das aufsteigende Wasser aufgetrieben und zum Schwimmsand werden würde (Bild 1).

Während der Ausschachtung ist das Wasser nach einer Vertiefung, in der sich der Saugkorb der Pumpe befindet, zu leiten. Dieser schützt die Pumpe vor dem Eindringen von Holzstückchen, Sand usw.

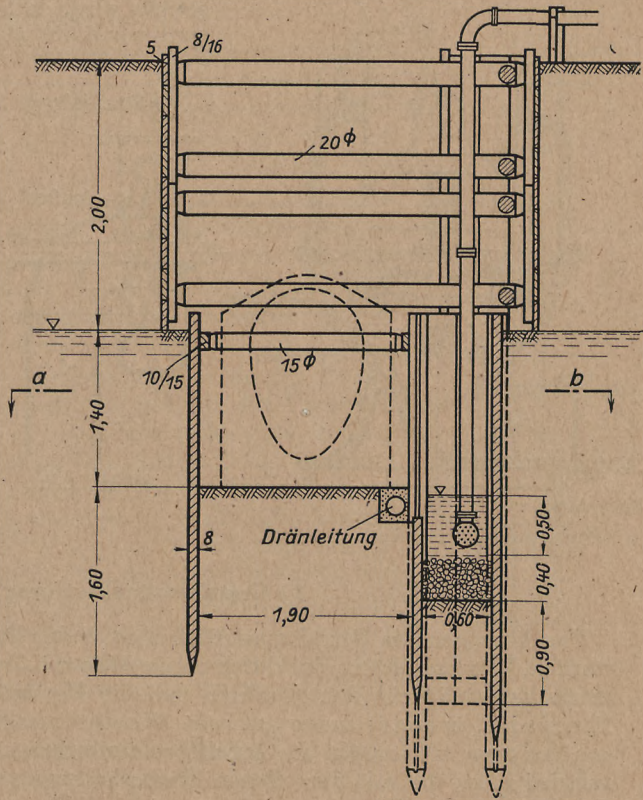
Große Aufmerksamkeit erfordert auch die Wasserhaltung während und noch eine Zeitlang (etwa 3 Tage für je 1 m Wasserdruck) nach der Herstellung des Mauerwerks oder Betons. Um das Wasser genügend tief abpumpen zu können, wird für den Saugkopf der Pumpe in der Baugrube selbst (Bild 113) oder in einem seitlichen Ausbau (Bild 92) ein Pumpensumpf angelegt, der entsprechend dem Baugrubenaushub tiefer getrieben wird (Bild 113). Nach Erreichung der endgültigen Tiefe kann man seine Sohle bei längerer Benutzung mit Kies als Filter abdecken (Bild 92), um das Auftreiben von Sand möglichst zu verhindern.

Dem Pumpensumpf ist das überall aus der Baugrubensohle aufsteigende Grundwasser, um es dem frischen Mauerwerk oder Beton unbedingt fernzuhalten, ohne

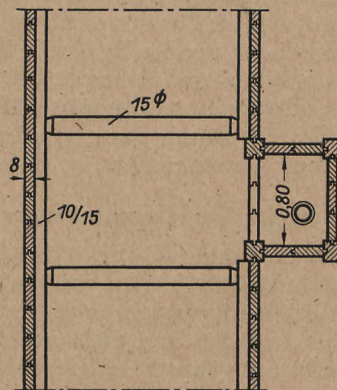
1) Aus „Deutsche Bauzeitung“ 1928, Konstr. u. Ausf., Nr. 1.

jede Staumöglichkeit zuzuleiten. Es kann dies, falls kleine Gräben nicht ausreichen, durch in die Baugrubensohle eingebettete Leitungen aus Dränrohren (Bild 92) oder aus Ausschußsteinzeugrohren geschehen.

Um bei langen Baugruben, z. B. für Entwässerungskanäle, die Pumpe nicht zu oft umsetzen und nicht an Punkten aufstellen zu müssen, die überlange Rinnenleitungen zum Abführen des gepumpten Wassers bedingen, baut man den Pumpensumpf durch Ummantelung auf etwa 50 cm Höhe mit grobfugig verlegten Mauersteinen, darüber bis zum Gelände mit Betonrohren zum Brunnen aus. Nun kann das anschließende Bauwerk, soweit es fertig ist, verfüllt werden und unter ihm hindurch das Wasser der weiterhin noch offenen Baugrube nach dem Brunnen fließen.



Schnitt a-b



Als Baupumpen kommen in Betracht:

die Diapumpe mit Hand- (Bild 93) oder Kraftantrieb,

die Kreiselpumpe mit Kraftantrieb (Bild 94).

Ist die Baugrube tiefer als 7...8 m (größte Saughöhe), so muß die Pumpe unter Gelände, möglichst dicht über dem ursprünglichen Grundwasserstande, aufgestellt und das Wasser auf die noch verbleibende Höhe hinaufgedrückt werden.

Bild 92. Kánalisationsbaugrube mit offener Wasserhaltung

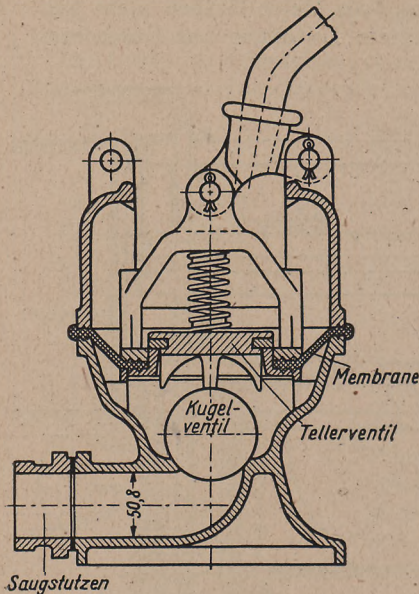


Bild 93. Saugpumpe für Handantrieb

Die Ableitung des Wassers erfolgt in einen Vorfluter oder auch eine Entwässerungsleitung. Es ist darauf zu achten, daß kein Sand mitgespült wird, da hierdurch starke Verunreinigungen und Abflußstörungen entstehen können.

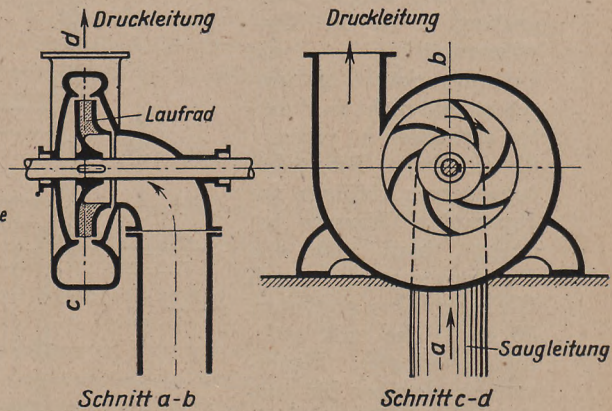


Bild 94. Kreiselpumpe

## b) Grundwasserabsenkung

Das Absenken des Grundwassers im Bereich der Baugrube ist erforderlich bei starkem Wasserandrang, der durch offene Wasserhaltung nicht bewältigt werden kann. Es ermöglicht den Aushub und die Herstellung der Grundbauten im Trocknen, erspart unter gewissen Voraussetzungen eine Spundwandumschließung und umgeht die Arbeiterschwerungen und -störungen, wie Bodenauftrieb usw., die mit der offenen Wasserhaltung verbunden sein können. Die Grundwasserabsenkung kommt in erster Linie für ausgedehnte Baugruben, aber auch für solche mittleren und kleineren Umfanges in Betracht. Es sind schon Absenkungstiefen bis 25 m erreicht worden.

Nach Ausschachtung der Baugrube bis auf das Grundwasser wird eine Anzahl Brunnen, aus Filter- und Saugrohr bestehend (Bild 95), um die Baugrube herum eingesetzt und durch eine gemeinschaftliche Saugleitung mit einer Pumpe verbunden (Bild 79). Durch dauerndes Pumpen wird dann der Grundwasserstand unter die Bausohle abgesenkt.

### 1. Ausführung der Grundwasserabsenkung

Die Herstellung eines Bohr- oder Rohrbrunnens (Bild 95) erfolgt in der Weise, daß ein Bohrrohr, das gewöhnlich 50...60 mm weiter als der Brunnen ist, ebenso wie bei den Probebohrungen (S. 7) niedergebracht wird. Hierauf wird das Filterrohr eingesetzt und, falls erforderlich, zwischen Bohrrohr und Filterrohr ein Kiesfilter eingebracht. Hierauf wird das Bohrrohr wieder gezogen.

Das Filterrohr muß über den höchsten Wasserstand im Brunnen hinausreichen. Es besteht meistens aus 2...3 mm starkem verzinktem Stahlblech mit aus-

gestanzten Rundlöchern oder besser Schlitzen. Um feinen Sand, Ton usw. zurückzuhalten, ist es mit Tressengewebe aus Messing oder Kupfer zu umgeben. Statt der Stahlblechfilter können auch Filter aus anderen Baustoffen, wie Holz, Bimsbeton, Kieselgur u. a., benutzt werden.

Falls das Filterrohr nicht über Gelände hinausragt, wird es durch ein Aufsatzrohr verlängert. Ist die Grundwasserschicht durch schwer- oder gar undurchlässige Bodenschichten unterteilt, so muß das Filterrohr bis über den obersten Wasserspiegel reichen.

In das Filterrohr wird das Saugrohr eingeführt, ein Stahlrohr möglichst aus einem Stück, um Undichtigkeiten der etwaigen Verbindungsstelle vorzubeugen. Es reicht bis etwa 0,5 m oberhalb der Unterkante des Filterrohres. Am unteren Ende hat es eine Rückschlagklappe, um ein Leerlaufen der Saugleitung und Kreiselpumpe zu verhüten.

Das Saugrohr wird mit einem Krümmer an die Saugleitung angeschlossen, die aus Stahlrohren mit Flanschen besteht. Die Verbindungen der einzelnen Rohre müssen sorgfältig gedichtet werden (Einlage von Gummi- oder ölgetränkten Pappringen), damit die Saugwirkung der Pumpen durch eindringende Luft nicht beeinträchtigt wird. Die Leitung steigt leicht ( $1\text{--}2\text{‰}$ ) zur Pumpe an, damit sich etwaige Luft- oder Gasbläschen nicht an Hochpunkten sammeln und den Leitungsquerschnitt verengen können, sondern zur Pumpe mitgerissen werden. Oberhalb jeden Brunnens ist zwischen dem Krümmer und der Pumpenleitung ein Absperrschieber einzubauen, um jeden Brunnen für sich ausschalten zu können (Bild 99).

Für den Betrieb der Anlage sind zwei Maschinensätze, die voneinander unabhängig sind, aufzustellen, damit bei Versagen eines Satzes der Betrieb der Absenkungsanlage ungestört weitergehen kann. Andernfalls ist durch das Ansteigen des Grundwassers mit einer Gefährdung, wenn nicht Zerstörung der Baugrube bzw. des Bauwerks zu rechnen.

Die üblichen Abmessungen für mittlere Verhältnisse sind: Bohrrohr 200 mm, Filterrohr 150 mm, Saugrohr 95 mm Durchmesser. Der Durchmesser der Saugleitung richtet sich nach der Zahl der angeschlossenen Brunnen und der Gesamtwassermenge. Die Maschenweite des Tressengewebes ist von der Körnung und Durchlässigkeit des Bodens abhängig: bei feinem reinem Sand von mittlerer Durchlässigkeit wird Tressengewebe von 0,5...0,75 mm Maschenweite verwandt. Bei gröberem Sand und Kies genügt 0,9 mm Maschenweite. Bei sehr grobem durchlässigem Kies kann unter Umständen das Gewebe ganz fortgelassen werden. Die Verwendung von Tressengewebe genügt bei ganz feinem Sand, vor allem bei tonigen Beimengungen, nicht. Hier muß noch ein ein- oder zweistufiger Kiesfilter (Bild 95) eingebaut werden, der das Tressengewebe vor Verschlammung und Verstopfung schützt.

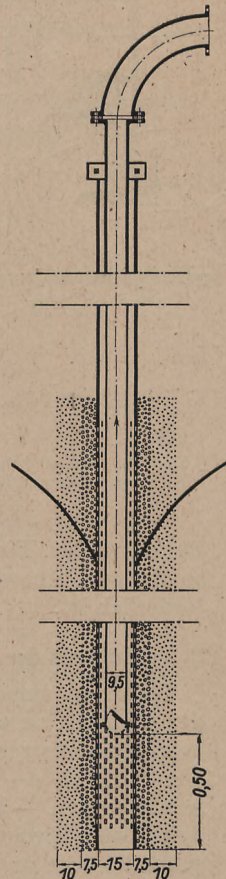


Bild 95.  
Rohrbrunnen  
mit zweistufigem  
Kiesfilter

Die Saughöhe der Kreiselpumpen kann bei Grundwasserabsenkungsanlagen nicht größer als 5,0 m, höchstens 7,0 m bei sehr sorgfältigem Einbau der Anlage angenommen werden.

Ist die erforderliche Absenkungstiefe größer, so müssen mehrere Staffeln nacheinander eingebaut werden (Bild 96).

Dies wird vermieden, wenn man nicht mit Kreiselpumpen, sondern mit elektrisch betriebenen Tauchpumpen arbeitet. Diese werden (Bild 97) in den Brunnen eingehängt, und zwar so tief, daß die Wasserförderung auch bei dem tiefsten Wasserstande im wesentlichen durch

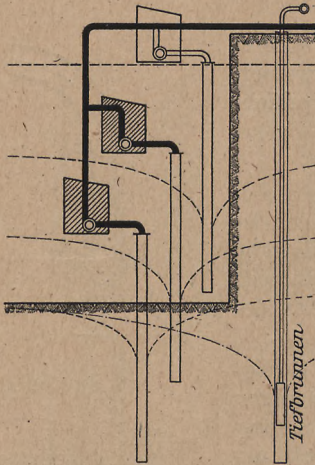


Bild 96. Gegenüberstellung von Brunnenstaffeln und Tiefbrunnen

Druck erfolgt. Die Brunnen werden von vornherein so tief gebohrt, wie es für die tiefste Absenkung erforderlich ist.

## 2. Vorentwurf der Grundwasserabsenkung

Um einen ungefähren Anhalt für Lage und Zahl der Brunnen zu erhalten, kann man folgende Erfahrungswerte verwenden: Der Abstand der Brunnen kann zu 4...7 m angenommen werden. Hiermit legt man — bei symmetrischer Baugrube von den Mitten zweier gegenüberliegender Seiten ausgehend — die ungefähre Lage und damit die Zahl der Brunnen fest. Die Tiefe der Brunnen ergibt sich aus folgender Überlegung: Die Absenkungskurve muß an der ungünstigsten Stelle (in Bild 99 in der Mitte der Baugrube) noch etwa 0,5...1,0 m unter Baugrubensohle liegen. Für das Gefälle der Absenkungslinie kann man, um die Absenkungstiefe am Brunnen ( $s$  in Bild 98) zu erhalten, im Mittel ein Gefälle von 1:10 zugrunde legen. Die nutzbare Sauglänge des Filterrohres ( $h$  in Bild 98) ist je nach Tiefe des Brunnen 3...6 m, woraus sich die Gesamttiefe der Brunnen errechnet.

Für das im folgenden Abschnitt 3) berechnete Beispiel ergibt sich mit diesen Werten folgende vorläufige Anordnung:

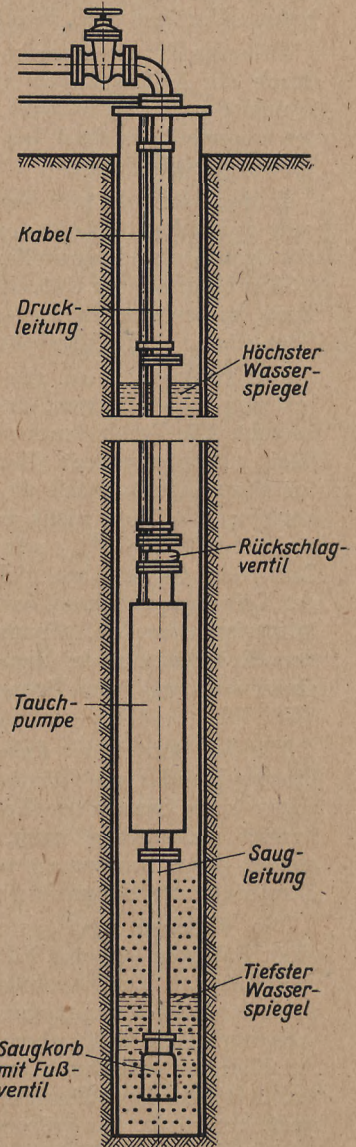


Bild 97. Tauchpumpe

Umfang der Baugrube (Bild 99):  $2 \cdot (11,70 + 12,50) = 48,40$  m.

Bei einem Brunnenabstand von rd. 5 m ist die erforderliche Brunnenzahl:  $\frac{48,40}{5} = \text{rd. } 10$ , d. h. der Brunnenabstand ist  $\frac{48,40}{10} = 4,84$  m.

Die Absenkungskurve soll in der Baugrubenmitte 0,50 m unter Baugrubensohle liegen, deren Ordinate + 30,94 sei, d. h. die Ordinate der Absenkungskurve soll  $+ 30,94 - 0,5 = + 30,44$  sein.

Größte Brunnenentfernung von Baugrubenmitte rd. 8,0 m, d. h. unter Zugrundelegung eines Absenkungsgefälles von 1 : 10 ist die erforderliche Absenkungstiefe im Brunnen:  $\frac{1}{10} \cdot 8,0 = 0,80$  m. Hiermit ergibt sich die Brunnentiefe mit einer angenommenen Sauglänge des Filterrohres von 5,20 m zu insgesamt  $5,20 + 0,80 = 6,0$  m, d. h. Filterrohrunterkante auf Ordinate  $+ 30,94 - 6,0 = + 24,94$  m. Gewählter Filterdurchmesser 15 cm.

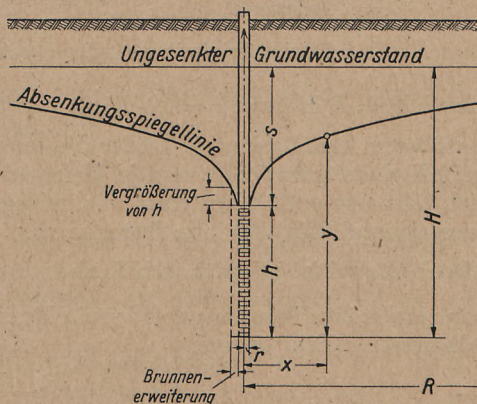


Bild 98. Spiegellinie des abgesenkten Grundwassers (vereinfacht)

### 3. Berechnung der Grundwasserabsenkung

**Formeln für die Berechnung.**  
Für fließendes Wasser gilt:

$$Q = F \cdot v.$$

- $Q$  die Wassermenge in  $\text{m}^3/\text{s}$
- $F$  ihr Querschnitt „  $\text{m}^2$
- $v$  ihre Geschwindigkeit „  $\text{m/s}$

Für die Pumpenleitung (Kreisquerschnitt) wird  $v=0,75-1,0$  m/s, höchstens zu 1,5 m/s, für die Sammelleitung vor der Pumpe bis zu 3,0 m/s angenommen und der erforderliche Durchmesser  $d$  in m hiermit im Mittel berechnet aus

$$\frac{\pi d^2}{4} = \frac{Q}{1,0}.$$

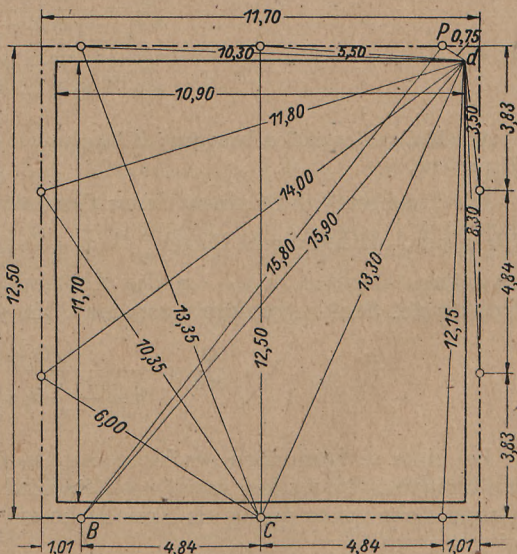


Bild 99. Umriß der Baugrube mit den Abständen der Brunnen für die Grundwasserabsenkung



Die Geschwindigkeit des den Boden durchfließenden Wassers ist

$$v = k \cdot i = k \frac{h}{l}.$$

$l$  Länge der durchflossenen Strecke in m

$h$  Absolutes Gefälle des Wasserspiegels auf dieser Strecke in m

$$i = \frac{h}{l} \text{ Relatives } \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad \text{,,} \quad \text{,,}$$

$k$  Durchlässigkeitswert der durchflossenen Bodenart

Nach  $Q = F k i$  bzw.  $i = \frac{Q}{F k}$  fließt das Grundwasser einem Brunnen mit um so größerem Gefälle  $i$  zu, je größer die gepumpte Wassermenge  $Q$ , je kleiner der Durchlässigkeitswert  $k$  ist und je kleiner der durchflossene Bodenquerschnitt  $F$  wird, fällt also gemäß letzterem mit immer steiler werdendem, trichterförmigem Wasserspiegel (Bild 98) zum Brunnen ab.

Doch entspricht jedem  $k$  nach Sichert ein Höchstgefälle von  $\frac{1}{15\sqrt{k}}$  und demnach eine größte Pumpmenge oder ein Fassungsvermögen des Brunnens vom Halbmesser  $r$  (Bild 98) von

$$f = F k i = 2r\pi h \frac{k}{15\sqrt{k}} = 2r\pi h \frac{\sqrt{k}}{15},$$

wenn der Brunnenabstand  $b \geq 5 \cdot 2r\pi$  ist.

Für „einen“ Brunnen (Abb. 98) gelten nach Thiem

$$\frac{q}{\pi k} = \frac{H^2 - h^2}{{}^1) \ln R - \ln r} \quad (1a)$$

$$\frac{q}{\pi k} = \frac{H^2 - y^2}{\ln R - \ln x}. \quad (1b)$$

Alle Maßzahlen auf m bezogen;  $R$  Reichweite der Absenkung,  $q$  Wassermenge eines Brunnens.

Für „mehrere“,  $n$  Brunnen, deren Gesamtwassermenge  $Q = nq$  ist, ist in (1b) für  $\ln x$  das arithmetische Mittel  $\frac{1}{n} (\ln x_1 + \ln x_2 + \dots + \ln x_n) = \frac{1}{n} \ln x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n$  zu setzen, worin  $x_1, x_2, \dots, x_n$  die Abstände der einzelnen Brunnen von dem Punkte des Senkungsspiegels von der Höhe  $y$  sind:

$$\frac{Q}{\pi k} = \frac{H^2 - y^2}{\ln R - \frac{1}{n} \ln x_1 \cdot x_2 \cdot \dots \cdot x_n}. \quad (2b)$$

Bei einer einigermaßen geschlossenen Grundfläche der Baugrube, wie es z. B. bei kleineren Bauwerken meist zutrifft, wird die von den Brunnen umschlossene Grundfläche genau genug als Kreisfläche angenommen und deren Halbmesser  $A$

1) Natürliche Logarithmen aus Tafel 1 der „Hütte“ oder aus den Briggschen Logarithmen nach  $\ln z = 2,303 \cdot \lg z$ .

2) Allgemein:  $\log a + \log b + \log c = \log a \cdot b \cdot c$ .

aus der Gleichsetzung der Baugrubenfläche mit einem Kreis bestimmt, so daß  $x = A$  ist. Hierfür erhält man aus (2b)

$$\frac{Q}{\pi k} = \frac{H^2 - y^2}{\ln R - \ln A} \quad (3b)$$

Der Durchlässigkeitswert  $k$  kann für die Vorberechnung, allenfalls auch für die endgültige Berechnung kleiner Anlagen an der Hand von Angaben Sichardts, natürlich nur sehr unsicher, geschätzt werden:

$$\begin{aligned} k &= 0,0001 \dots 0,0002 \text{ für sehr feinen Sand, z. T. schlamm-, ton- oder kleihaltig} \\ &= 0,001 \dots 0,002 \text{ (Grenzwerte } 0,0005 \dots 0,005) \text{ für feinen reinen Sand} \\ &= 0,005 \dots 0,01 \text{ für größeren Sand, Kies.} \end{aligned}$$

Sicherer wird  $k$  aus einer Probeabsenkung ermittelt, die wegen der Kosten aber nur für größere Ausführungen in Frage kommt.

Die Reichweite  $R$ , deren Größe übrigens von ganz bedeutend geringerem Einfluß auf das Rechnungsergebnis ist als die von  $k$ , wird für weniger umfangreiche Absenkungen genau genug ermittelt aus der Erfahrungsformel von Sichardt

$$R = 3000 s \sqrt{k}, \text{ worin } s \text{ die Absenkung in m.}$$

Es ist zu berechnen, ob das an den Brunnen sich tatsächlich einstellende  $h$  nicht kleiner als das im Vorentwurf überschläglich ermittelte und ob damit nicht etwa das Fassungsvermögen der Brunnen kleiner und ihre Zahl vielleicht zu erhöhen ist. Hierzu wird in (1 a) für  $\ln r$  das arithmetische Mittel aller Brunnenabstände von einem der Brunnen, dessen eigener Abstand vom Umfang  $x_1 = r$  ist, gesetzt und erhalten

$$\frac{Q}{\pi k} = \frac{H^2 - h^2}{\ln R - \frac{1}{n} \ln r \cdot x_2 \cdot x_3 \dots x_n} \quad (2a)$$

Dann ergibt sich auch aus  $H - h$ , zuzüglich der Höhe der Pumpenachse über dem ungesenkten Grundwasserstand und der Widerstandshöhe des Filters, die einen tieferen Wasserstand „im“ Brunnen als außen an seinem Umfang hervorruft und mit der Zeit zunimmt, aber im Dauerbetrieb 1...2 m nicht übersteigen soll, die Saughöhe. Diese darf bei den meist benutzten Kreiselpumpen (Bild 94) im allgemeinen nur 5...7 m betragen. Die Saughöhe und die noch erforderliche Druckhöhe (bis über Gelände) bilden die Förderhöhe. Die erforderliche Pumpenleistung wird berechnet aus

$$N = \frac{Qh}{75\eta} \text{ in PS.}$$

$Q$  Fördermenge in l/s

$h$  Förderhöhe in m

$\eta = 0,33 - 0,5$  Wirkungsgrad unter Berücksichtigung aller Leitungswiderstände

Da das Grundwasser der Brunnenreihe hauptsächlich von außen zufließt, ist schließlich noch festzustellen, ob nicht an einem Punkt der Baugrube außerhalb der Brunnenreihe (an den Ecken) oder zwischen zwei Brunnen der Wasserspiegel über die Bausohle tritt, wozu  $y$  aus (2b) zu berechnen ist.

### Vorbereitung einer Grundwasserabsenkung

Grundwasserstand + 33,82; Bausohle + 30,94 (Bild 99)

Absenkung in der Mitte der Baugrube:  $30,94 - 0,50 = + 30,44$

Filterunterkante:  $30,94 - 6,00 = + 24,94$

$H = 33,82 - 24,94 = 8,88$  m;  $y = 30,44 - 24,94 = 5,50$  m

Von den Brunnen umschlossene Fläche (Bild 99):  $11,70 \cdot 12,50 = 146 \text{ m}^2 = A^2 \pi$   
 $A = 6,82$  m

Auf Grund von Bodenproben geschätzt:  $k = 0,0015$ .

#### 1. Gesamtwassermenge und Brunnenzahl:

Absenkung an den Brunnen lt. Vorentwurf:  $30,94 - 0,80 = + 30,14$

$h = 30,14 - 24,94 = 5,20$  m;  $s = 8,88 - 5,20 = 3,68$  m

$R = 3000 \cdot 3,68 \sqrt{0,0015} = 427$  m

Nach (3b):  $\frac{Q}{\pi 0,0015} = \frac{8,88^2 - 5,50^2}{\ln 427 - \ln 6,82}$

$$\begin{aligned} Q &= 0,00471 \frac{78,85 - 30,25}{6,06 - \ln \frac{682^2}{100}} \\ &= \frac{0,229}{6,06 - (\ln 682 - \ln 100)^2} \\ &= \frac{0,229}{6,06 - (6,53 - 4,61)} = \frac{0,229}{6,06 - 1,92} = 0,0554 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Für  $r = 0,075$  m Fassungsvermögen eines Brunnens:

$$f = 2 \cdot 0,075 \pi 5,20 \frac{\sqrt{0,0015}}{15} = 0,00632 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$n = \frac{0,0554}{0,00632} = 8,76 \approx 10 \text{ Brunnen}$$

Brunnenabstand lt. Vorentwurf:  $4,84 \text{ m} > 5 \cdot 2 \cdot 0,075 \cdot \pi = 2,36$  m

#### 2. Absenkung am Umfang des Brunnens C (Abb. 99):

Nach (2a):

$$\begin{aligned} \frac{0,0554}{\pi 0,0015} &= \frac{8,88^2 - h^2}{\ln 427 - \frac{1}{10} \ln 0,075 \cdot 4,84^2 \cdot 6,00^2 \cdot 10,35^2 \cdot 13,35^2 \cdot 12,50^2} \\ &\quad - 11,73 \left[ 6,06 - \frac{1}{10} (\ln 63 + \ln 107 + \ln 178 + \ln 125 - \ln 10) \right] + 78,85 = h^2 \\ h^2 &= 78,85 - 11,73 \left[ 6,06 - \frac{1}{10} (4,14 + 4,67 + 5,18 + 4,83 - 2,30) \right] \\ &= 78,85 - 11,73 (6,06 - 1,65) \\ h &= \sqrt{78,85 - 51,70} = 5,21 \text{ m} > 5,20 \text{ m, wie unter 2. angenommen.} \end{aligned}$$

1) Da die Tafeln für  $\ln$  nur die Vollzahlen von 1 bis 1000 enthalten, so ist eine Dezimalzahl gleich einem Bruch und  $\ln \frac{a}{b} = \ln a - \ln b$  zu setzen.

2) Es ist  $x_2 = x_{10}$ ,  $x_3 = x_9$ ,  $x_4 = x_8$ ,  $x_5 = x_7$ ,  $x_6 = 12,50$  m.

3. Förderhöhe und Pumpenleistung:

Pumpe 0,70 m über Grundwasser. Filterwiderstandshöhe: 1,50 m

Saughöhe:  $8,88 - 5,21 + 0,70 + 1,50 = 5,87 < 7$  m

Abfluß 0,30 über Gelände (+ 36,63).

Förderhöhe:  $5,87 + 36,63 - 33,82 - 0,70 = 7,98$  m

Wirkungsgrad:  $\eta = 0,33$

Pumpenleistung:  $N = \frac{55,4 \cdot 7,98}{75 \cdot 0,33} \approx 18$  PS

Gemeinsame Saug- und Druckleitung:  $\frac{\pi d^2}{4} = \frac{0,0554}{1,0}; d \geq 0,27$  m

Saugrohre:  $\frac{\pi d^2}{4} = \frac{0,0554}{10 \cdot 1,0}; d \geq 0,085$  m

4. Absenkung an der Baugrubenecke  $d$  oben rechts (Bild 99):

Nach (2b):

$$\frac{0,0554}{\pi \cdot 0,0015} = \frac{8,88^2 - y^2}{\ln 427 - \frac{1}{10} \ln 3,50 \cdot 8,30 \cdot 12,15 \cdot 13,30 \cdot 15,90 \cdot 14,00 \cdot 11,80 \cdot 10,30 \cdot 5,50 \cdot 0,75}$$

$$- 11,73 \left[ 6,06 - \frac{1}{10} (\ln 352 + \ln 212 + \ln 165 + \ln 43) \right] + 78,85 = y^2$$

$$y^2 = 78,85 - 11,73 \left[ 6,06 - \frac{1}{10} (5,86 + 5,36 + 5,11 + 3,76) \right]$$

$$= 78,85 - 11,73 (6,06 - 2,01)$$

$$y = \sqrt{78,85 - 47,5} = 5,60$$

Wasserspiegel unter der Bausohle:  $6,00 - 5,60 = 0,40$  m.

c) Abdichten der Baugrubensohle

Das Abdichten der Baugrubensohle unter Wasser (ohne Wasserhaltung) ist erforderlich, wenn in einer Spundwandbaugrube bei feinem quelligem Sand und starkem Wasserandrang die Gefahr besteht, daß die Baugrubensohle bei Wasserhaltung aufgetrieben wird. Ist sie abgedichtet (durch Beton oder chemische Verfestigung), so ist nur innerhalb der Baugrube das oberhalb der Sohle befindliche Wasser abzupumpen; es wird also erheblich an Pumparbeit gespart.

1. Abdichten durch Beton

Der Aushub des Bodens erfolgt bis zur Baugrubensohle meistens mit Greifbaggern unter Wasser (Bild 100),

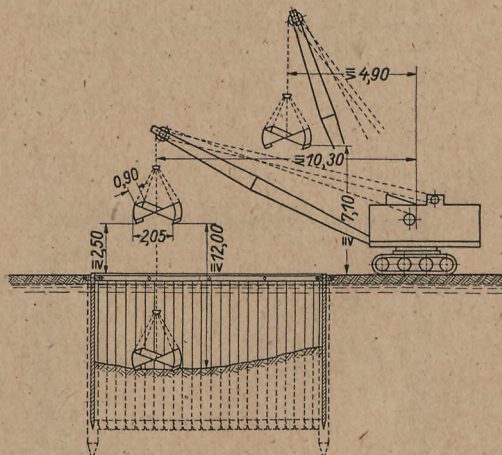


Bild 100. Demag-Universal-Kleinbagger als Greifbagger (Demag A.G., Duisburg)

da ja infolge der Auftriebsgefahr eine Wasserhaltung nicht angesetzt werden kann.

Nach Aushub der Baugrube wird eine Betonplatte unter Wasser in sog. „Naßbetonierung“ eingebaut.

Die Betonplatte macht man bei nicht zu hohem Wasserdruck meistens so stark, daß sie schon durch ihr Eigengewicht dem Wasserdruck von unten das Gleichgewicht hält:

$d = 0,83 h$ , worin  $h$  der Abstand des Wasserspiegels von Betonoberkante ist, mindestens aber 0,75 m stark.

Die beiden Ausführungsarten des Unterwasserbetons sind in Abschnitt C, I, e 2 ausführlich beschrieben, da er in der Hauptsache für die Herstellung der Bauwerke angewandt wird, wie ja auch eine abdichtende Betonsohle in der Baugrube selbstverständlich später als Fundamentplatte des Bauwerks ausgenutzt wird.

## 2. Chemische Verfestigung (Versteinerung)

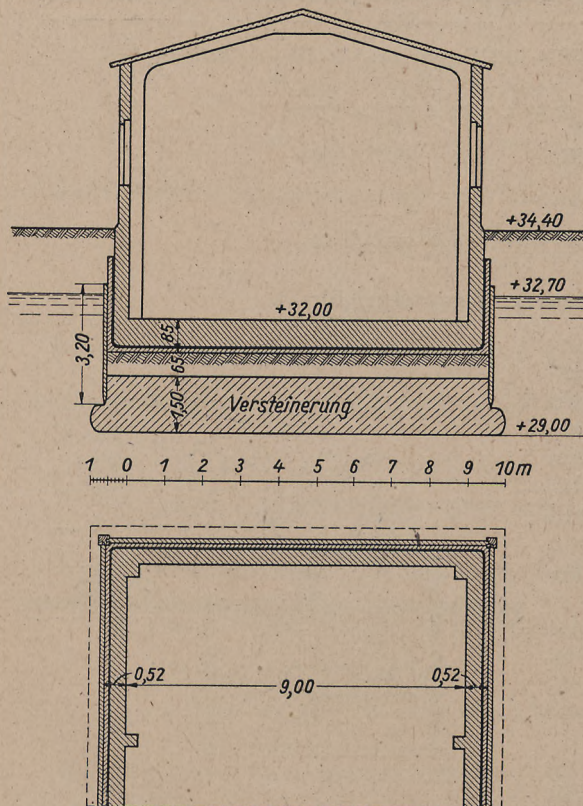


Bild 101. Abdichtung der Baugrubensohle durch Bodenversteinerung. (Nach „Der Bauingenieur“ 1930, Heft 11/12)

Das auf S. 20 beschriebene Verfahren der chemischen Bodenverfestigung ermöglicht, die Baugrubensohle vor dem Aushub abzudichten. Nachdem die Spundwandumschließung geschlagen ist, erfolgt die Verfestigung der Sohle, worauf nun der Boden unter Wasserhaltung ausgehoben wird. Die Verfestigung kann auch unter den Spundwänden über diese hinausgreifen, so daß an Spundwandlänge gespart wird (Bild 101).

Es ist nicht erforderlich, die Versteinerung bis zur Baugrubensohle hinaufzuführen. Eine über der Versteinerung verbleibende unverfestigte Bodenschicht kann mit ihrem Gewicht als Gegenlast gegen den Auftrieb in Rechnung gestellt werden, wodurch an Stärke der Abdichtungsschicht gespart wird. Andererseits wird eine Versteinerung unmittelbar unter dem Bauwerk die Tragfähigkeit des Baugrundes erhöhen (A, V, e).

## V. Taucherarbeiten

Kleinere Arbeiten unter Wasser, wie Ausbesserungen, Beseitigen von Hindernissen und Undichtigkeiten, werden durch Taucher ausgeführt. Dem Taucher wird gewöhnlich die zuvor gereinigte Luft mittels Luftpumpe durch einen Schlauch aus Kautschuk mit eingebetteter Drahtspirale und Drillichumhüllung zugeführt.

Das Drägerwerk, Lübeck, stellt auch ein schlauchloses Tauchergerät her, das, auf dem Rücken getragen, dem Taucher durch einen kurzen Schlauch ein Gemisch von Preßluft und Sauerstoff zuführt, durch einen zweiten Schlauch die ausgeatmete kohlensäurehaltige Luft absaugt und diese, gereinigt von Kohlensäure und angereichert mit Sauerstoff, durch den ersten Schlauch dem Taucher wieder zuführt.

Der Taucher trägt einen Anzug aus doppeltem gummi-getränktem Baumwollstoff, der den ganzen Körper bis auf die Hände (beim Tieftauchen auf  $\geq 30$  m auch diese) und den Kopf umhüllt. Zum oberen Abschluß dient der Helm aus Kupfer, der aus Schulter- und Kopfstück besteht. Letzteres hat vorn (abschraubbar), zu beiden Seiten und über der Stirn Fenster (Bild 102).

Der Regelung des der Tauchtiefe anzupassenden Luftdrucks dient außer der langsameren oder schnelleren Betätigung der Luftpumpe auf Grund der Manometerbeobachtung das Luftauslaßventil am Helm. Unabhängig von der selbsttätigen Regelung des Ventils kann der Taucher selbst, um sich Auf- oder Untertrieb zu geben, das Ventil zeitweise öffnen oder schließen.

Im übrigen wird dem Auftrieb durch Taucherschuhe mit Gußeisen- oder Hartbleisohlen von je 9 kg und durch ein je 17 kg schweres Brust- und Rückenblei begegnet. Beim Tauchen über 10 m Wassertiefe ist ein Brustgewicht mit Preßluftbehälter (B in Bild 102) zu benutzen, der, im Falle eines Lecks im Anzug, eines Risses oder einer Dichtquetschung des Schlauchs nach Dichtschrauben des Luftauslaßventils geöffnet, den zum Aufsteigen nötigen Auftrieb gibt.

Zum Einsteigen in das Wasser wie zum Heraussteigen dient eine an die Arbeitsbühne angehängte stählerne Leiter, zum Ab- und Aufsteigen in der Tiefe das Grundtau, an dem sich der Taucher Hand über Hand bewegt.

Der Abstieg soll so schnell erfolgen, wie es der Luftdruck im Anzug, der unbedingt der jeweiligen Wassertiefe entsprechen muß, zuläßt. Auch das Austauchen aus weniger als 13 m Tiefe darf schnell vor sich gehen. Aus größeren Tiefen muß in immer kleiner werdenden Stufen nach immer längeren Pausen ausgetaucht werden, worüber die Austauchtabelle nach Haldane<sup>1)</sup> nähere Auskunft gibt.

Zur Verständigung des Tauchers mit der Bedienungsmannschaft über Wasser dienen ein Fernsprecher im Helm und eine Signalleine, die in Notfällen auch als Rettungsleine zum Heraufholen des Tauchers dient.

1) Im „Taucherlehrbuch“, herausgegeben vom Verband der Deutschen Berufsgenossenschaften, Berlin W 9, Köthener Str. 37.

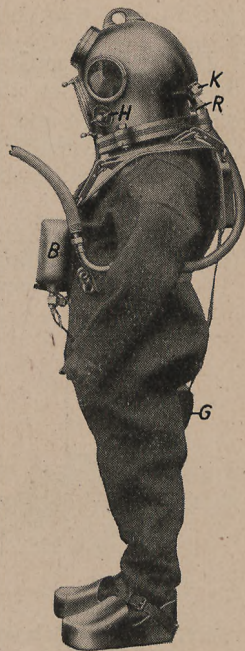


Bild 102. Taucherausrüstung  
(Drägerwerk, Lübeck)

## C. Grundbauten

Die Sohle der Grundbauten wird tunlichst winkelrecht zur Richtung des auf den Baugrund zu übertragenden Bauwerkdruckes angelegt, wobei auf die verschiedene Lage und Richtung der Mittelkraft infolge verschiedener Belastungen (z. B. bei Brücken) Rücksicht zu nehmen ist. Auch ist bei wechselnder Richtung der Mittelkraft auf eine etwaige Gleitgefahr zu achten.

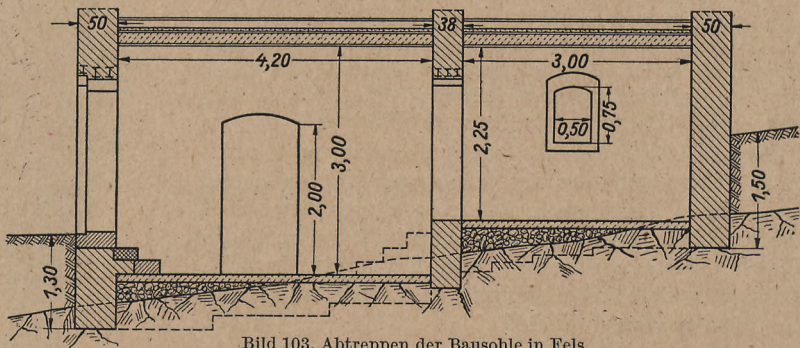


Bild 103. Abtreppen der Bausohle in Fels

In fallendem Fels wird die Sohle, um an Brucharbeit zu sparen, abgetreppst, im Hochbau (Bild 103) jedoch nur, soweit es die Ausbildung des untersten Geschosses zuläßt.

Die Bausohle muß frostfrei liegen, damit Bewegungen des Baugrundes infolge Gefrierens und Auftauens ausgeschlossen sind, lt. DIN 1054 mindestens 80 cm unter Gelände, bei Ingenieurbauten jedoch meistens 1,0 ... 1,5 m, wenn nicht der Bau an sich, z. B. bei Hochbauten der Keller, eine tiefere Bausohle verlangt.

Bauteile, deren Baugrundbelastungen wesentlich verschieden sind und die sich daher voraussichtlich verschieden stark setzen werden, sind durch Baufugen voneinander zu trennen (Bild 104), und zwar müssen diese Fugen (wie auch Dehnungs-, Gelenk- und andere Fugen) durch das gesamte Bauwerk, d. h. von Unterkante Fundament bis Oberkante Bauwerk hindurchgehen, andernfalls sich wilde Risse bilden würden.

Die Größe der Fundamente ist abhängig von der aufzunehmenden Last und der zulässigen Baugrundbeanspruchung.

Bei Hochbauten ist es bei geringer Auflast (Kleinhäusern) und

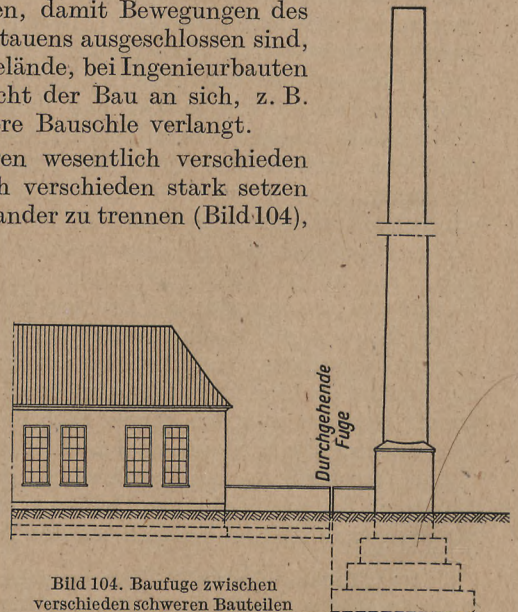


Bild 104. Baufuge zwischen verschieden schweren Bauteilen

gutem Baugrund möglich, auf eine Verbreiterung der Fundamente gegenüber den aufgehenden Mauern zu verzichten.

Ob die Fundamente unter die Frosttiefe (bei Ingenieurbauten unter 1,0 ... 1,5 m) hinunterzuführen sind, hängt von der Beschaffenheit des Baugrundes ab. Auch eine nur geringe Tragfähigkeit läßt sich oft noch durch eine entsprechende Verbreiterung der Fundamente ausnutzen.

Bleibt Fundamentunterkante in Frosttiefe oder unwesentlich darunter (s. oben), d. h. kann der in Unterkante Bauwerk befindliche Baugrund die Last aufnehmen, so spricht man von einer Flachgründung.

Muß dagegen die Last des Bauwerks durch besondere Maßnahmen (Pfeiler, Pfähle u. a.) unter der Bauwerksohle auf eine tiefer liegende, genügend tragfähige Schicht hinuntergeführt werden, so spricht man von einer Tiefgründung.

## I. Flachgründung

### a) Sockelgründung

Bei der überwiegenden Zahl der Hochbauten kommt die Sockelgründung in Frage. Die Sockelfundamente können in Ziegel- oder Bruchsteinmauerwerk, in Beton oder Stahlbeton ausgeführt werden.

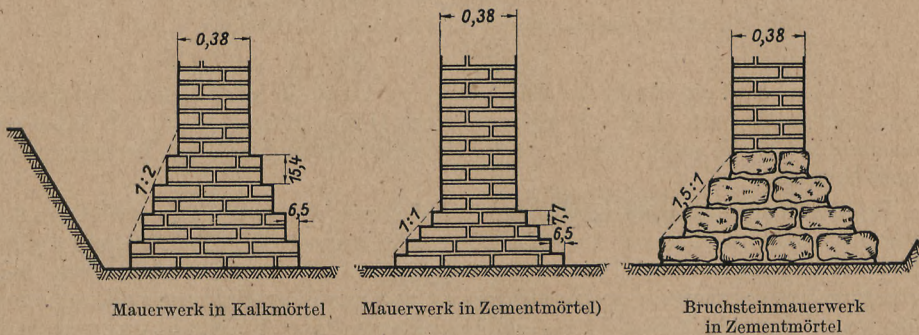


Bild 105. Sockelfundamente in Ziegel- und Bruchsteinmauerwerk

Das Mauerwerk der Sockel wird zweckmäßig in Zementmörtel hergestellt, um eine größere Festigkeit und damit eine geringere Höhe der Grundmauern zu erzielen (Bild 105). Es muß nämlich das Verhältnis der Höhe zur Ausladung mindestens betragen

- 2 : 1 bei Mauerwerk in Kalkmörtel,
- 1,5 : 1 „ Bruchsteinmauerwerk in Zementmörtel,
- 1 : 1 „ Mauerwerk aus festen, großen und lagerhaften Bruchsteinen, Hartbrandsteinen oder Klinkern in Zementmörtel.

In Grundmauern aus Ziegelsteinen erfolgt die Verbreiterung immer um einen halben Stein, so daß die Absätze beiderseits um je  $\frac{1}{4}$  Stein, an Nachbarmauern



nur nach innen um  $\frac{1}{2}$  Stein vortreten. Es werden dann nach obigem die Absätze hoch von

Ziegelmauerwerk in Kalkmörtel bei beiderseitiger Verbreiterung 2 Schichten

„ „ „ „ einseitiger „ 4 „

Mauerwerk aus Hartbrandsteinen oder Klinkern in Zementmörtel

1 bzw. 2 Schichten.

Den untersten Absatz macht man gewöhnlich 1...2 Schichten höher, weil der untersten, auf der Erde verlegten, meistens nicht sorgfältig vermauerten Schicht nicht die gleiche Festigkeit und die gleiche Teilnahme an der Druckübertragung beizumessen ist wie den übrigen Schichten.

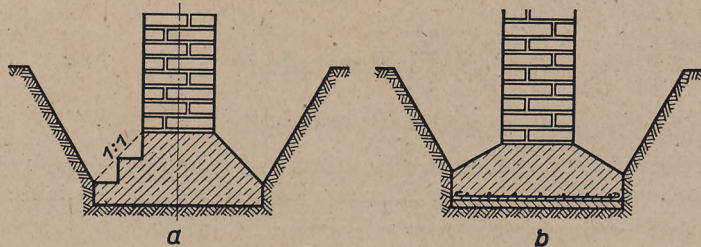


Bild 106. Sockelfundamente in a) Beton und b) Stahlbeton

Unbewehrter Beton (Bild 106a) verlangt je nach einer Baugrundbeanspruchung von  $1,67 \dots 5 \text{ kg/cm}^2$  eine Höhe gleich der  $1 \dots 1,73$ fachen Ausladung. Er kommt daher nur in Betracht für eine mäßige Verbreiterung von Mauern.

Bei der Ausführung der Sockel in Stahlbeton wird an Höhe und Gewicht sowie unter Umständen an Ausschachtungstiefe gespart (Bild 106b). Diese Stahlbetonsockel, meist Stahlbetonroste genannt, erhalten zur Aufnahme des Baugrundgedruckes eine Bewehrung quer zur Längsrichtung und, falls der Baugrund ungleichmäßig ist, noch längsbewehrte Verstärkungsrippen unter den Mauern zur Überbrückung und Überkragung nachgiebiger Stellen. Vorspringende Ecken sind in der Diagonalrichtung zu bewehren (Bild 107).

### b) Plattengründung

Reicht infolge geringer Tragfähigkeit des Baugrundes eine Verbreiterung der Einzelfundamente als Sockel nicht aus, so muß die ganze Grundfläche des Bauwerks zur Aufnahme der Lasten herangezogen werden. Hierfür wird eine Stahlbetongrundplatte angeordnet (Bild 108). Diese wird bei größeren Spannweiten durch Rippen unterteilt wie umgekehrte Stahlbetongeschoßdecken mit Plattenbalken in Haupt- und Nebenträgerkonstruktion (Bild 109). Unter den Mauern werden längsbewehrte Stahlbetongrundbalken angeordnet. Die Platten werden meistens unter die Balken und Rippen gelegt. Diese Ausführung ist die statisch richtige. Bei umgekehrter Anordnung wird zwar an Erdaushub



und der Kellerfußboden gespart, jedoch werden die Rippen und Grundbalken schwerer. Unter Großräumen mit Pilzdecke wird die Grundplatte zweckmäßig als umgekehrte Pilzdecke ausgebildet.

Unter der rechnermäßig erforderlichen Stärke der Stahlbetonplatten und -balken ist eine Betonschicht von mindestens 5 cm oder eine Ziegelflachsicht anzuordnen, um eine Verunreinigung und damit Schwächung der tragenden Stahlbetonbauteile zu verhüten.

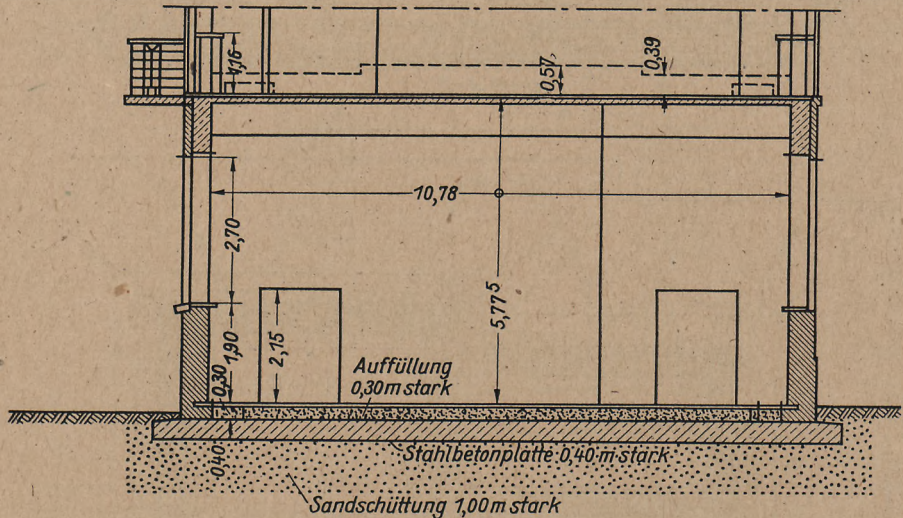


Bild 108. Turnhallegebäude auf Stahlbetongrundplatte

Die Bewehrung der Grundplatten und -balken ist zur Aufnahme des nach oben wirkenden Baugrundgedruckes selbstverständlich in Umkehrung einer Deckenbewehrung anzuordnen. Die Längsbewehrung der Verstärkungsrippen erfolgt in Doppelbewehrung, um sowohl positiven wie negativen Biegemomenten je nach der Durchbiegung Rechnung zu tragen.

Es sei noch bemerkt, daß die bei der statischen Berechnung meistens gemachte Annahme einer gleichmäßigen Verteilung des Bodengegendrucks mit der Wirklichkeit nicht übereinstimmt, weil sie die Durchbiegung der Grundplatten und -balken nicht berücksichtigt. Doch ergibt die Berechnung auf dieser Grundlage allgemein größere Biegemomente und Schubkräfte und damit größere Abmessungen der Grundbauten, bietet also größere Sicherheit unter Vernachlässigung größter Wirtschaftlichkeit. Hinsichtlich der genaueren Berechnung sei auf „Brennecke-Lohmeyer, Der Grundbau“, III. Band: I. Teil, D 3 und 5 und die dort angeführten Quellen verwiesen.

In der Nähe elektrischer Bahnen mit Schienenrückleitung empfiehlt sich der Schutz der Grundbauten aus Stahlbeton gegen das feuchte Erdreich und die es durchirrenden elektrischen Ströme.



## c) Grundgewölbe

Statt der Stahlbetonroste und der Stahlbetongrundplatten können auch umgekehrte Gewölbe (Grundgewölbe) angeordnet werden, eine Ausführungsart, die heute jedoch zu den Seltenheiten gehört. Derartige Gewölbe können als Streifengewölbe entsprechend den Rosten oder als Gewölbe unter der ganzen Grundfläche des Bauwerks entsprechend den Grundplatten angeordnet werden.

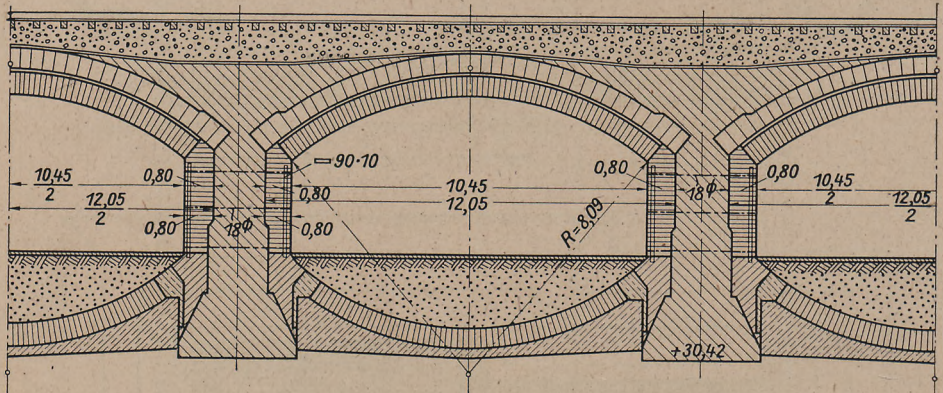


Bild 110. Umgekehrte Gewölbe unter einer Eisenbahnunterführung

In beiden Fällen müssen die darüberliegenden aufgehenden Bauteile den Gewölbeschub aufnehmen; bei den Randgewölben muß dies unter Umständen durch Zuganker erfolgen, die sorgfältig vor Rost zu schützen sind. Bild 110 zeigt den nachträglichen Einbau von Grundgewölben bei einer Bahnüberführung, deren Lasten infolge der gesteigerten Verkehrslasten nicht mehr allein durch die Grundfläche der Brückenpfeiler auf den Baugrund übertragen werden konnten, bei der vielmehr eine Verbreiterung dieser Grundflächen durch Einziehen der Grundgewölbe (unter gleichzeitiger Verstärkung der Pfeiler- und Bogenkonstruktion) erfolgen mußte.

## d) Sand-, Kies- und Steinschüttung

Nicht tragfähiger Boden, der dicht unter der Oberfläche liegt, kann in Gegenden, in denen geeignetes Material günstig zu haben ist, durch Sand-, Kies- oder Steinschüttung ersetzt werden. Der ungeeignete Baugrund wird entweder zunächst ausgehoben und dann durch eine Schüttung ersetzt, oder die Schüttung verdrängt durch ihr Gewicht den darunter liegenden schlechten Boden (z. B. Moor) und sinkt auf den tragfähigen Baugrund ab. In beiden Fällen müssen die Schüttung und die angrenzenden Teile des Bodens erst zur Ruhe kommen, ehe man ein Bauwerk darauf errichten kann. Und auch dann ist oft später noch immer mit Setzungen zu rechnen, so daß diese Bauweise nur in Ausnahmefällen zu empfehlen ist, man vielmehr womöglich andere Gründungsarten wählen soll.

Eine Sand- und Kiesschüttung im Trocknen kann durch maschinelles Abstampfen (Delmag-Frosch) so verdichtet werden, daß leichte Bauwerke darauf

errichtet werden können. Die Druckverteilung entspricht dem natürlichen Böschungswinkel von  $40^\circ$  zur Lotrechten, woraus sich die erforderliche Breite und Tiefe der Schüttung errechnet (Bild 111). Bei einer Schüttung unter Wasser ist die Druckverteilung  $30^\circ$  gegen die Lotrechte. Die Gründung eines Gebäudes auf Sandschüttung, die vor Errichtung des Bauwerks sorgfältig eingeschlämmt worden ist, zeigt Bild 108.

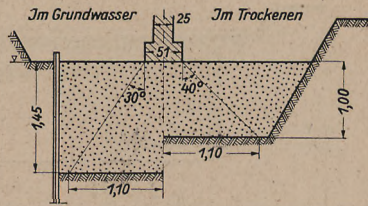


Bild 111. Gründung auf Sandschüttung

Steinschüttungen aus sehr großem Material werden häufig bei dem Bau von Ufermauern, Molen und anderen Bauten im offenen Wasser angewandt. Hier kommt es meistens auf die Schaffung großer Massen an, die den angreifenden starken Wasserkräften genügend Widerstand bieten können und wo deswegen Gründungen auf Pfählen oder dergleichen nicht möglich sind (Bild 112).

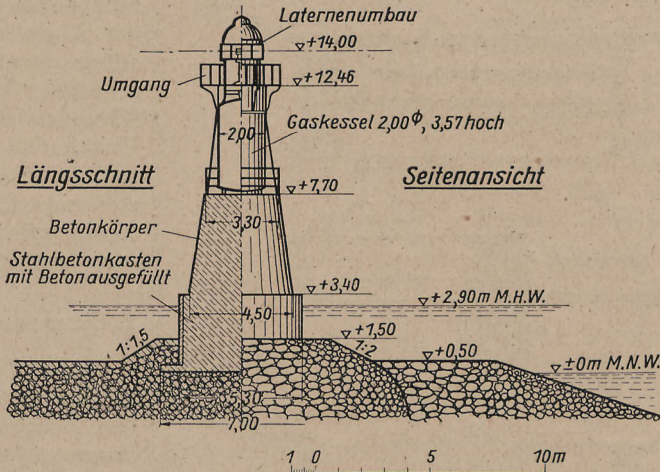


Bild 112. Gründung einer Leuchtbake mittels Stahlbetonkasten auf Steinschüttung

### e) Gründung zwischen Spundwänden

Die sehr häufig angewandte Gründung eines Bauwerks zwischen Spundwänden ist gleichfalls eine Flachgründung, da die Lasten unmittelbar durch den Baugrund unter der Fundamentsohle aufgenommen werden. Für die Ausführung kommt in Frage, daß entweder alle Arbeiten nach Rammung der Spundwände unter Wasserhaltung oder aber Aushub und Betonierung im Nassen ausgeführt werden.

#### 1. Unter Wasserhaltung

Nach Rammung der Spundwände werden entsprechend dem Fortschritt des Aushubes die Absteifungen eingebaut (Bild 113, a ... c) und der Pumpensumpf tiefer geführt. Die Wasserhaltung ist so lange im Betrieb zu halten, bis die untere Funda-



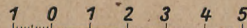
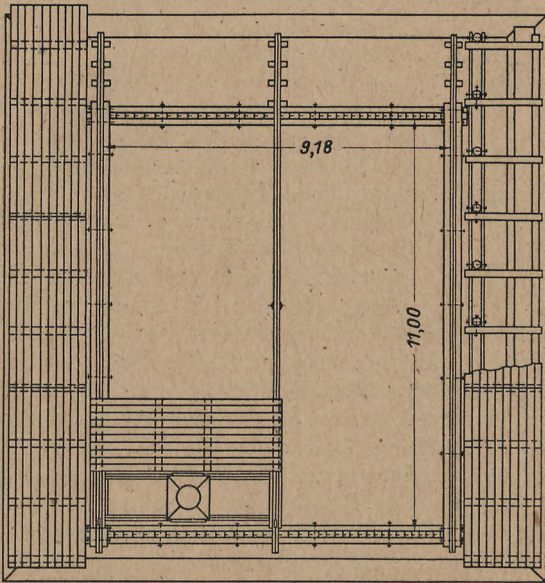
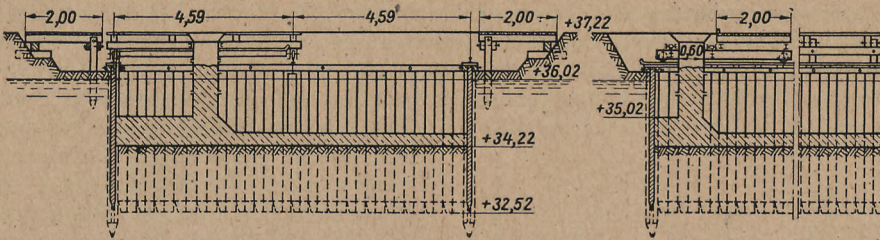


Bild 114. Unterwasserschüttbeton mittels Betontrichters

Um möglichst „frisch“ an frisch“ zu betonieren, schüttet man zunächst in Streifen zur Längsachse der Baugrube, eine etwaige zweite Schicht aber winkelrecht dazu, damit nicht Fuge auf Fuge kommt (Bild 115), und teilt sehr große Baugruben durch große Querspundwände, die später abgestemmt werden, in Abschnitte, die man nacheinander betoniert.

Zur Füllung wird der Trichter zunächst unten durch einen Jutepfropfen

verschlossen, damit der Beton nicht etwa durch das Wasser im Rohr hinabfällt und ausgespült wird. Mit der Schüttung, d. h. dem Verfahren des Rohres, darf erst begonnen werden, wenn der Trichter und das Rohr bis über Wasser gefüllt sind, und es muß während der Arbeit dauernd so viel Beton nachgefüllt werden, daß die Betonfüllung nicht unter Wasserspiegel fällt.

Erschwert wird dieses Arbeitsverfahren durch etwaige Aussteifungen der Baugrube. Nachteilig ist, daß ein großer Teil des Betons (die Oberflächen aller Schüttschichten und der aus dem Rohr unten seitwärts auslaufende Beton) mit dem Wasser in Berührung kommt. Hierdurch ist die Gefahr der Entmischung des frischen Betons sehr groß. Die Erfahrung hat gezeigt, daß es häufig zu einer starken Schichtung des Betons infolge der lagenweisen Schüttung kommt. Die Arbeitsweise ist daher nur für seitlich eingefasste Fundamente, nicht für frei stehende Bauteile zulässig.

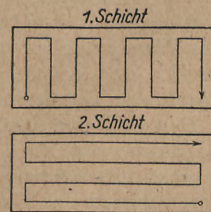


Bild 115. Betonschüttung in zwei Schichten



**Unterwassergußbeton.** Der Beton wird nach dem „Contractor-Verfahren“ (nach der schwedischen Baufirma Contractor) durch ein Rohr, das im Gegensatz zu dem oben beschriebenen Verfahren ortsfest ist, so eingebracht, daß die Betonmasse unter der Oberfläche des ersteingebrachten Betonhaufens aus dem Rohr tritt und demnach von innen aufquillt (Bild 116). Da hierbei die Nachfüllungen mit dem

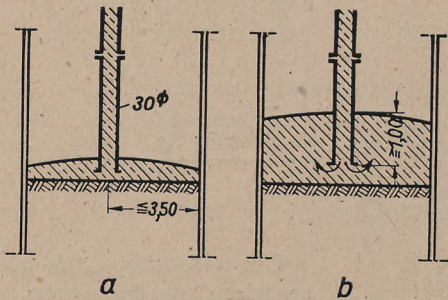


Bild 116. Unterwassergußbeton nach dem Contractor-Verfahren

a) Beginn des Gusses b) Zustand während des Gusses

freien Wasser gar nicht in Berührung kommen, ist größte Gewähr gegen ein Auswaschen des frischen Betons gegeben. Weil das Rohr nicht verschoben zu werden braucht, eignet sich das Verfahren gut für Baugruben mit vielfacher Aussteifung.

Die Fließweite des Betons, der möglichst zähflüssig sein soll, darf mit höchstens 3,5 m von Rohrmitte in Ansatz gebracht werden, so daß mit einem Rohr nur ein Betonkörper von 5,0 · 5,0 m Grundfläche gegossen werden kann. Größere Grundflächen müssen mit mehreren Rohren in gleichem Fortschritt oder nach Unterteilung durch

auf die Sohle gesetzte Zwischenwände nacheinander betoniert werden (Bild 117). Im letzten Falle wird an die Zwischenwand ein waagerechtes dreiseitiges Prisma angeheftet, um in dem erstgegossenen Betonklotz einen Falz zum sicheren Einbinden des nächsten zu erhalten. Um das Anbinden des Betons an die Zwischenwand zu verhindern, wird diese mit Schalungsöl gestrichen.

Das Gießrohr, rund 30 cm  $\varnothing$ , besteht aus mit Gummiringen gedichteten Flanschenrohren von unten 3 m, oben 1 m Länge zum Abnehmen mit dem Höherwachsen der Betonschicht; es ist mit dem aufgesetzten Trichter am Gerüst lotrecht geführt und kann mittels Winde und Flaschenzug abgelassen und hochgezogen werden.

Zur ersten Füllung wird in das Rohr, das auf der Baugrubensohle aufsteht, unmittelbar unter dem Trichter ein Pfropfen aus Jute gestopft, der Trichter durch eine Bodenklappe geschlossen und mit Beton gefüllt. Sodann wird das Rohr 5...10 cm angehoben und die Klappe, die hierbei um ein Scharnier in der Mitte nach unten zusammenklappt, mit einem Drahtseil durch den Beton im Trichter herausgezogen. Infolgedessen rutscht der Beton, Pfropfen voraus, in das Rohr und drängt die Luft und das Wasser aus ihm unten heraus. Gleichzeitig muß bereitgehaltener Beton nachgefüllt werden und, sobald der Vorrat erschöpft ist, das Rohr wieder fallen gelassen werden, damit der Beton im Rohr nicht unter den Wasserstand in der Baugrube absinkt.

Der weitere Guß erfolgt so, daß das Rohr 1...5 cm angehoben und, sobald der Beton ins Rutschen kommt, nachgefüllt und wieder abgelassen wird. Ist die Betonschicht 1 m über das untere Rohrende gestiegen, so ist das Eindringen des Wassers von unten in das Rohrinne im allgemeinen nicht mehr zu befürchten. Dem weiteren Ansteigen des Betons entsprechend wird das Rohr nun immer höher gezogen und, sobald es um 1,0 m gehoben ist, ein Rohrschuß oben ausgebaut.

Der Betonkörper hat eine etwa 1 : 10 gewölbte Oberfläche. Der oberste, erstgegossene und während des ganzen Gusses vom Wasser unmittelbar gespülte Beton wird, soweit er sich nach dem Abpumpen des Wassers nicht einwandfrei

zeigt, abgestemmt. Nach diesem Verfahren können auch freistehende Bauteile zwischen Schalung unter Wasser betoniert werden, wobei die Schalung entsprechend stark und dicht sein muß.

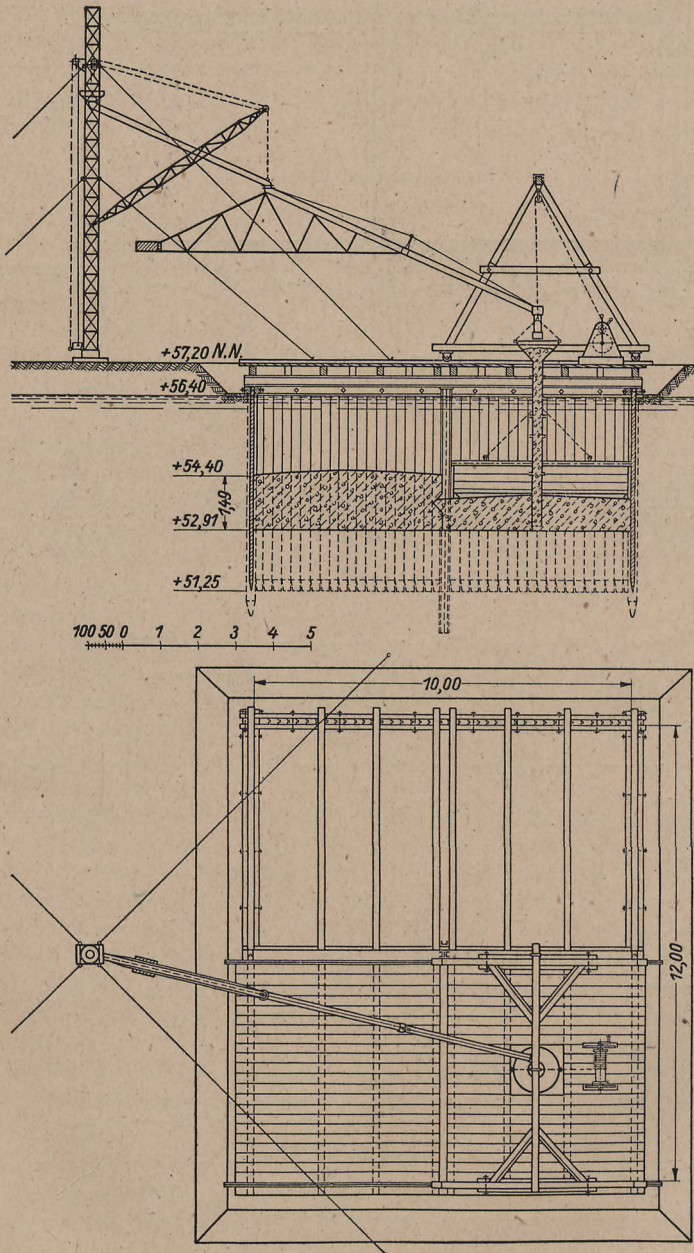


Bild 117. Unterwassergußbeton eines Fundamentes



## II. Tiefgründung

Die Lasten des Bauwerks werden auf tiefer liegende tragfähige Bodenschichten hinuntergeführt (S. 63). Dies erfolgt — außer bei der Druckluftgründung — durch einzelne Pfeiler (Pfeiler in Mauerwerk, Beton oder Stahlbeton, Brunnen, Pfähle), die an ihren oberen Enden durch eine Tragkonstruktion zur Aufnahme des Bauwerks selbst verbunden werden.

### a) Grundpfeiler

Die Grundpfeiler werden aus Mauerwerk, Beton oder Stahlbeton hergestellt. Sie werden bis zu dem tragfähigen Baugrund hinabgeführt und erhalten dort

entsprechend der Auflast und der zulässigen Beanspruchung des Baugrundes eine Verbreiterung, die entweder sockelförmig (Bild 118) ist oder aber aus durchlaufenden Stahlbetonbalken (Bild 119) (seltener umgekehrten Gewölben) besteht. Die Verteilung der Pfeiler unter dem Bauwerk geschieht derart, daß zunächst an den Stellen, wo die

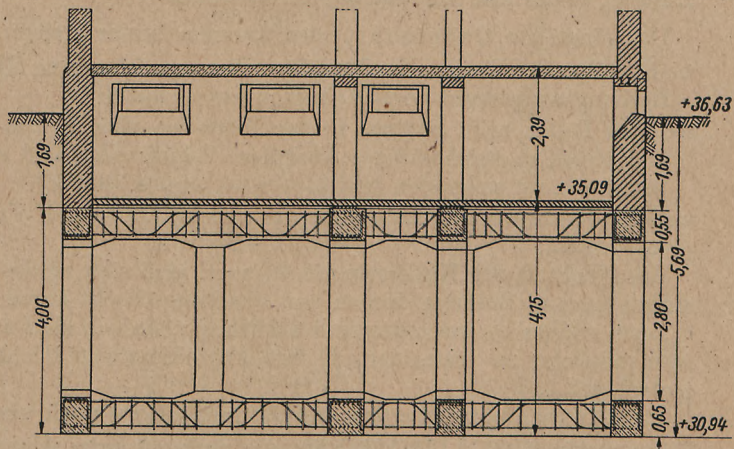


Bild 119. Haus auf Grundpfeilern mit Stahlbetongrundbalken

Kraftangriffspunkte sind — bei Gebäuden an den Mauerkreuzungen — Grundpfeiler vorgesehen werden. Die so entstehenden Abstände sind durch Anordnung weiterer Pfeiler so zu teilen, daß die Pfeilerabstände etwa 2,0 ... 4,0 m je nach Belastung und Konstruktion werden. Bei Gebäuden dürfen Pfeiler nicht unter Tür- und Fensteröffnungen stehen. An ihrem oberen Ende werden die Pfeiler durch Gewölbe (Bild 118) oder Stahlbetonbalken (Bild 119) miteinander verbunden.

Die Herstellung der Grundpfeiler erfolgt meistens nicht in Einzelbaugruben, sondern in durchlaufenden kanalmäßigen Baugruben, wodurch das Arbeiten sehr erleichtert wird.

Bei Grundwasser wird sich eine Gründung auf Grundpfeilern nur empfehlen, wenn bei Grundwasserabsenkung die Ausführung im Trocknen geschehen kann.

### b) Senkbrunnen

Die Einzelpfeiler werden als Hohlzylinder aus Mauerwerk, Beton, Stahlbeton oder Stahl durch Ausheben des Bodens im Innern bis zum tragfähigen Baugrund versenkt und dann mit Beton ausgefüllt.

Die Senkbrunnengründung findet im Grundwasser Anwendung, wenn der tragfähige Baugrund ziemlich tief liegt. Sie ist nicht zu empfehlen, wenn die zu durchfahrende Erdschicht Hindernisse wie Wurzeln, größere Steine, Baureste u. a. erwarten läßt, da sich diese nur mit Schwierigkeiten — durch Taucher — beseitigen lassen. Auch in der Nähe bestehender Bauten, die nicht mindestens ebenso tief gegründet sind, wie die Brunnen zu versenken sind, ist die Brunnengründung nicht anzuwenden, da beim Erdaushub innerhalb des Brunnens der außen befindliche Boden leicht nachsackt.

Die Gründung auf Brunnen wird wegen der leicht entstehenden Schwierigkeiten heute nur noch wenig ausgeführt, es wird meistens Pfahl- oder Druckluftgründung vorgezogen. Dagegen findet sie noch öfters Anwendung zur Herstellung hohler Schächte wie Brunnen, Klärgruben u. a.

### 1. Form, Größe und Abstand der Senkbrunnen

Der günstigste Querschnitt der Brunnen ist der kreisförmige, weil bei ihm der Umfang im Verhältnis zur umschlossenen Fläche und damit der Reibungswiderstand beim Absenken am kleinsten ist, weil der Boden beim Baggern in der Mitte von allen Seiten gleichmäßig zufällt und so ein ungleichmäßiges Absinken, Schiefstellen und etwaiges Reißen des Brunnens am sichersten verhütet wird, und schließlich weil die Kreisform zur Aufnahme des äußeren Erd- und Wasserdrucks am günstigsten ist.

Ein Nachteil der Kreisform ist dagegen, daß sich runde Brunnen beim Absenken gern in Spiralen drehen und aus ihrer Flucht kommen.

Auch andere Querschnitte sind ausführbar. Jedoch sind unsymmetrische Formen möglichst zu vermeiden, da ihre Absenkung sehr leicht größere Schwierigkeiten bietet.

Im Längsschnitt werden die Brunnen öfters nach oben um  $\frac{1}{15} \dots \frac{1}{7,5}$  ihrer Höhe verjüngt (Bild 125, 126), um die Reibung beim Absenken zu verringern, was auch durch einen nach außen überstehenden Brunnenkranz (Bild 121, 123) erreicht werden kann.

Die Größe der Grundfläche der Senkbrunnen ist nach dem zu übertragenden Druck und der zulässigen Beanspruchung des Baugrundes zu bemessen, wobei eine etwaige Reibung zwischen Brunnenwand und Erde außer Ansatz bleibt.

Es sind immer wenige große Brunnen vielen kleinen vorzuziehen, weil große Brunnen stärkere Wandungen zulassen und deshalb leichter — ohne besondere Auflast — zu versenken sind,

weil der Wechsel zwischen dem Versenken und dem Verlängern der Brunnen, der immer Aufenthalt verursacht, im ganzen nicht so häufig zu erfolgen braucht und

weil dann die Brunnen weiter auseinander stehen und sich infolgedessen sicherer ohne Abweichung nach der Seite absenken lassen. Denn Senkbrunnen treiben leicht nach der Seite, wo die Erde bereits durch eine nahe Brunnenversenkung gelockert ist, ab.

Jedenfalls darf deshalb der Abstand zweier Brunnen, von Schneide zu Schneide, nicht unter 0,60 m betragen, weil sonst das Aufsetzen des zweiten auf den erstversenkten zu befürchten ist.

## 2. Bauart der Senkbrunnen

**Senkbrunnen aus Mauerwerk und Beton.** Gemauerte Brunnen, gewöhnlich rund, haben den Vorzug, daß ihr großes Gewicht meistens eine Zulast entbehrlich macht. Ihre Verlängerung erfolgt nach Möglichkeit laufend mit der Absenkung, was jedoch häufig nicht durchzuführen ist. Die Brunnen sind immer so hoch zu mauern, daß das Mauerwerk abgebunden hat, wenn es unter Gelände abgesenkt wird.

Die Brunnenwand wird zwecks Zusammenhalts und leichteren Eindringens auf einen Brunnenkranz aus Holz (Bild 120) oder Stahl (Bild 121, 122) aufgesetzt.

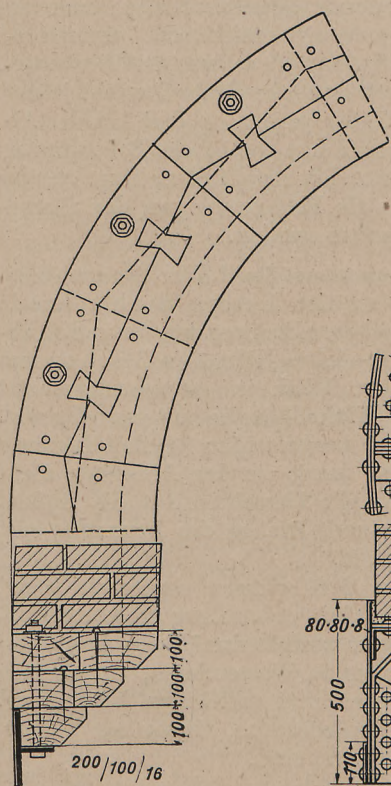


Bild 120.  
Hölzerner Brunnenkranz

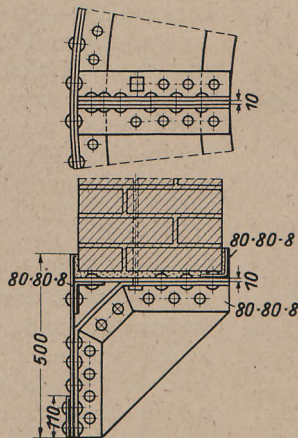


Bild 121. Stählerner Brunnenkranz  
mit Blechstreben

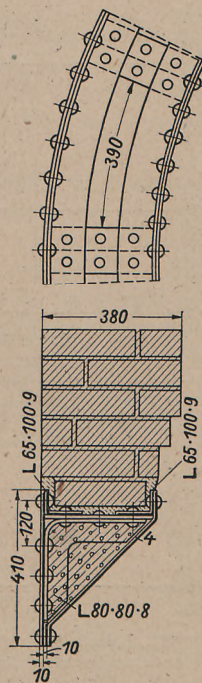


Bild 122. Stählerner Brunnenkranz  
mit Betonausfüllung

Das Mauerwerk wird gewöhnlich aus Hartbrandsteinen oder Klinkern in schnellbindendem Zementmörtel hergestellt und außen verputzt. Es wird zur Erhöhung des Gewichts möglichst stark ausgeführt und hierzu nach innen, soweit es der erforderliche Arbeitsraum zuläßt, über den zur Kostenersparnis gern schmal gehaltenen Kranz vorgekragt (Bild 122). Die Wandstärke  $w$  in m läßt sich überschläglich ermitteln aus

$$w = 0,10 + 0,1 d,$$

worin  $d$  der Brunnendurchmesser in m ist.

Ist ein Wechsel der Bodenschichten und ihres Reibungswiderstandes zu erwarten, so wird, um ein Abreißen des unteren Brunnenteils bei abnehmender Reibung zu verhüten, das Mauerwerk mit dem Brunnenkranz verankert (Bild 121).

Das für gemauerte Brunnen Gesagte gilt sinngemäß auch für Brunnen aus Beton (Bild 126).

**Senkbrunnen aus Beton- und Stahlbetonringen.** Senkbrunnen aus Beton- oder Stahlbetonringen kommen hauptsächlich für kleinere Durchmesser in Frage. Sie bieten den Vorteil, daß ihre Verlängerung durch einzelne Ringe sowie die Ausbildung der Schneide sehr einfach ist (Bild 123). Infolge der schwachen Wandungen ist der Arbeitsraum groß, ihr Gewicht jedoch verhältnismäßig gering, so daß bei der Absenkung häufig eine zusätzliche Belastung erforderlich ist. Bis etwa 1,50 m Durchmesser können sie als Fertigware von den Betonwerken bezogen werden.

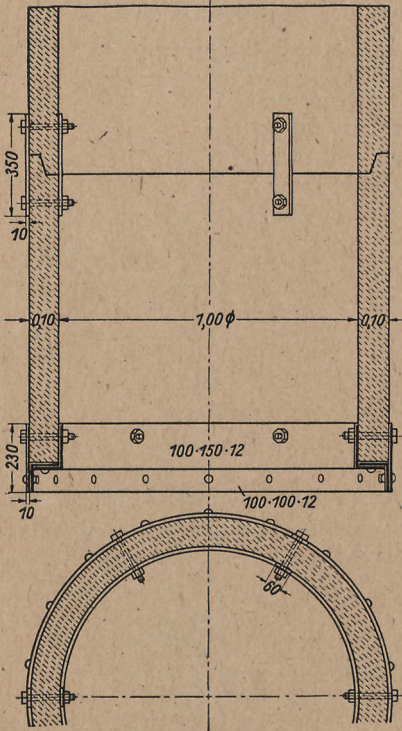


Bild 123. Betonbrunnenringe mit Bewehrung der Schneide und Sicherung des Stoßes

**Senkbrunnen aus Stahl.** Für Brunnen kleineren Querschnitts kommen Stahlrohre in Betracht, größere Brunnen werden in Schüssen von 1,0 ... 1,5 m Höhe aus Blechen und versteifenden Winkeln aufeinandergesetzt und durch Winkelflansche miteinander vernietet. Alle waagerechten Winkel kommen nach innen, damit sie das Absenken nicht erschweren, alle lotrechten auf die Außenseite, um einem Drehen des Brunnen entgegenzuwirken.

Stählerne Senkbrunnen sind zwar teuer, eignen sich aber wegen ihrer großen Festigkeit und ihres verhältnismäßig geringen Gewichts für große Wassertiefen, da sie sich leicht bewegen und aufhängen lassen, und besonders für Seebauten, die starkem Wellenschlag ausgesetzt sind.

### 3. Versenken der Brunnen

Mit dem Versenken der Brunnen wird auf Land erst in Höhe des Grundwassers begonnen, nachdem die Baugrube so tief ausgeschachtet ist, um die Arbeit der kostspieligen Brunnengründung auf die zulässig kleinste Höhe zu beschränken.

Schwachwandige und damit leichte Brunnen müssen häufig zum Versenken eine zusätzliche Belastung erhalten durch Schienen, Träger, Steine oder die ausbaggerterte Erde.

Bei schwächerem Wasserandrang kann man bei größerem Brunnendurchmesser den Boden unter offener Wasserhaltung von Hand ausheben. Bei starkem Pumpen drohen jedoch, namentlich in feinem Sand, infolge des Wasserauftriebs Bodenbrüche, die die Arbeiter im Brunnen gefährden. Es empfiehlt sich daher, den Boden unter Wasser auszubaggern, wodurch die Kosten der Wasserhaltung fortfallen. Für die Ausführung der Baggerarbeit kommen Greifbagger (Bild 100) in Frage.

Beim Baggern muß der Boden tunlichst gleichmäßig von allen Seiten zur Mitte fallen, damit sich der Brunnen nicht schief stellt. Ist dies doch eingetreten, so muß der Brunnen durch Baggern an der hochstehenden Seite wieder geradegerichtet werden.

Von Brunnen einer engen Reihe läßt man zunächst jeden zweiten aus und versenkt diese erst nachträglich, da nun der Boden an ihren beiden Seiten gleich stark gelockert ist und sie nicht mehr nach „einer“ Seite ausweichen werden. Bei einem lichten Abstand gleich dem Brunnendurchmesser ist das gleichzeitige Versenken zweier Nachbarbrunnen nicht mehr bedenklich.

Im offenen Wasser wird bei geringerer Tiefe eine Insel geschüttet, von der aus die Brunnen wie auf Land versenkt werden. Die Schüttung ist in stärkerer Strömung zum mindesten stromauf durch Streichwände unter  $45^{\circ}$  aus Faschinen zwischen Pfählen oder aus Spundbohlen zu sichern. Nach beendetem Bau muß die Schüttung wieder weggebagert werden.

Um die mit der Wassertiefe immer mehr wachsenden Schütt- und Baggerkosten zu vermeiden, wird in tieferem Wasser zum Versenken ein gerammtes Gerüst vorgezogen, dessen Tragpfähle tiefer als die Brunnen reichen müssen, und das zweckmäßig zwei Arbeitsbühnen trägt, eine obere zum Aufstellen und Bedienen des Baggers und zum Ablassen der Aufhängespindeln, eine untere zum Verlängern der Brunnen und zum Auf- und Abbringen einer Zulast.

Wenn der Senkbrunnen sehr schwer ist, kann sein Gewicht, so lange er frei im Wasser hängt, erheblich dadurch vermindert werden, daß er unten abgeschlossen wird. Hierbei ist jedoch auf eine zweckmäßige Ausführung dieses Verschlusses zu achten, damit er bei Aufsitzen des Brunnens wieder entfernt werden kann.

#### 4. Ausfüllen und Verbinden der Senkbrunnen

Die Brunnen werden, nachdem sie mit ihrer Oberkante bis auf einige Zentimeter über Wasser abgesenkt sind und das Wasser im Inneren auf die Höhe des Außenwassers angestiegen ist, unter Wasser entweder voll ausbetoniert (Bild 124... 126), was für kleinere vorzuziehen ist, oder nur im unteren Teil und nach Erhärtung des Betons ausgepumpt und im Trockenen weiter ausbetoniert. Im letzteren Falle beträgt die Stärke  $d$  des Abschlußbetons entsprechend dem auf S. 60 Gesagten:  $d = 0,45 H$ , worin  $H$  der Abstand der Brunnensohle vom Wasserspiegel ist.

Die Verbindung der Senkbrunnen erfolgt bei Bauwerken des Tiefbaus, insbesondere solchen, die stärkeren Horizontalkräften (Strömung, Eisgang, Erd- druck) ausgesetzt sind, unmittelbar über dem Bauwasserstand (Bild 125, 126). Bei Hochbauten und sonstigen Bauwerken, bei denen derartige Kräfte fortfallen, werden die Brunnen so hoch gezogen, daß die Verbindungskonstruktion gerade unter dem aufgehenden Bauwerk liegt (Bild 124).

Bei Uferbauten, wie Ufermauern, Brückenwiderlagern sind die Zwischenräume zwischen den Brunnen gegen die Hinterfüllungserde abzuschließen, wozu meistens eine Spundwand gerammt werden muß (Bild 126).



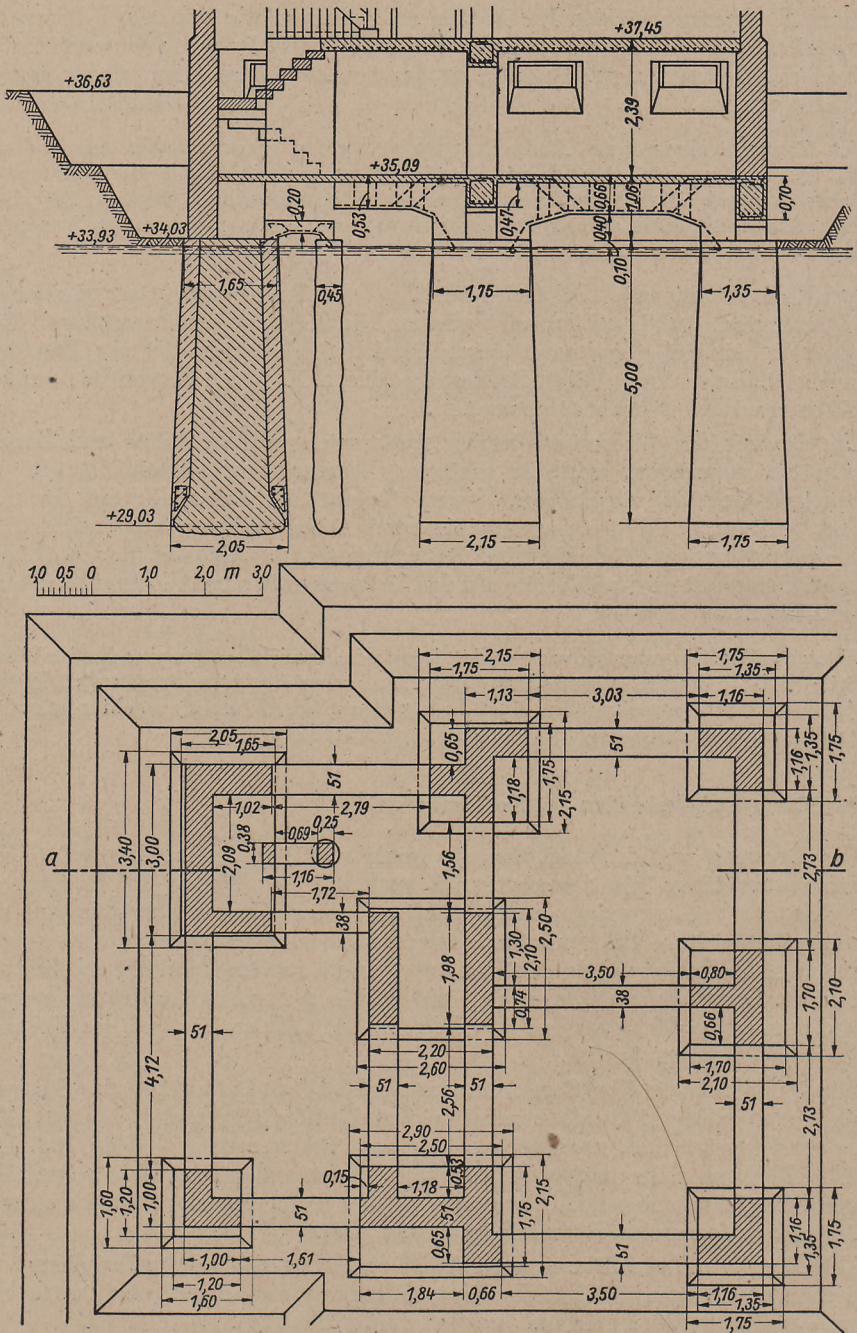


Bild 124. Gründung eines Wohnhauses auf Betonsenkrümmen mit verbindenden Stahlbetonbalken



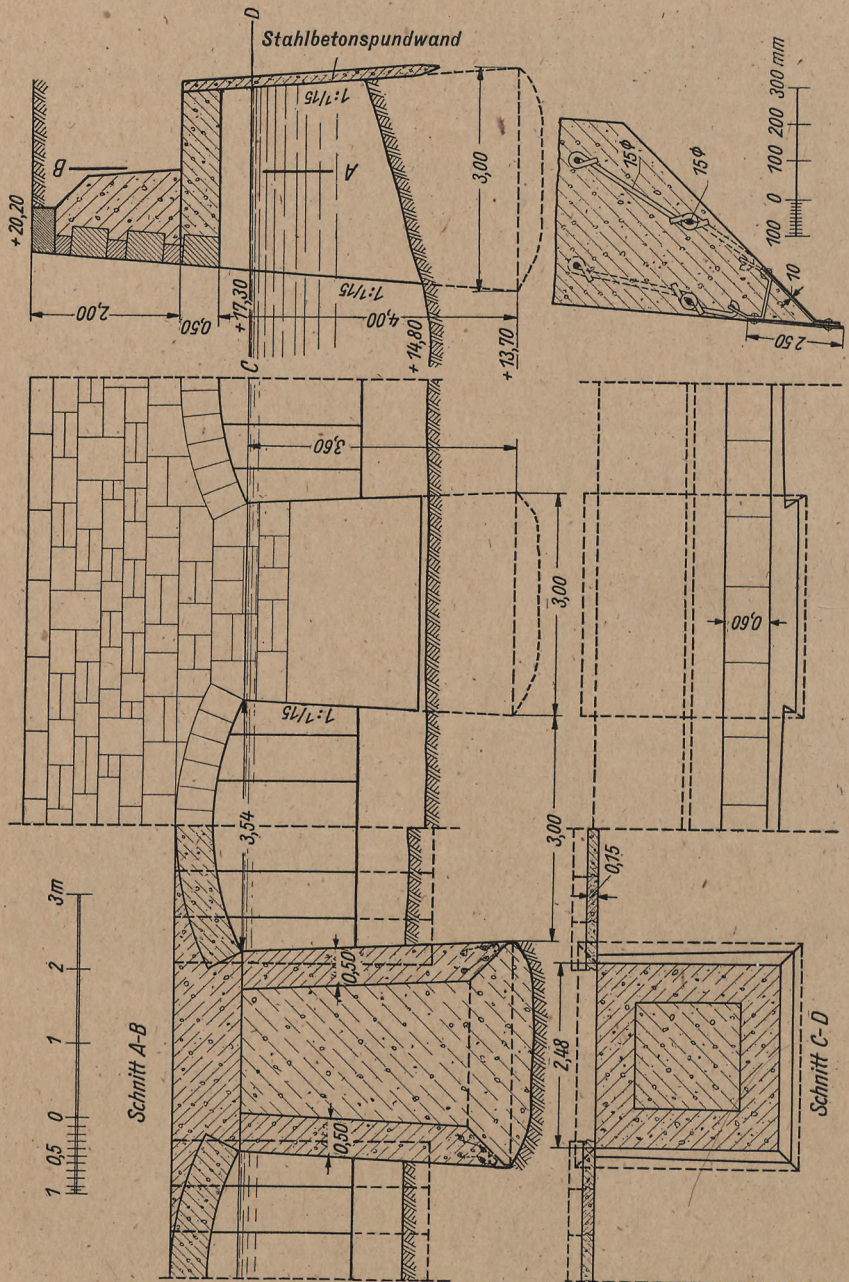


Bild 126. Ufermauer auf Betonsenkbrunnen

### c) Pfahlgründung

Die Gründung, die am häufigsten bei tiefliegendem gutem Baugrund angewandt wird, ist die Pfahlgründung. Die Lastenübertragung auf den tragfähigen Baugrund erfolgt (S. 14) durch den Widerstand der Pfahlspitze oder des Pfahlfußes und außerdem bei den meisten Pfählen noch durch die Mantelreibung.

Liegt der tragfähige Boden zu tief, so kann durch die Einrammung der Pfähle eine Verdichtung der oberen, ursprünglich nur schwach tragfähigen Schichten erfolgen, die nunmehr imstande sind, die Lasten durch die Mantelreibung zu übernehmen. Wenn irgend möglich, ist jedoch eine derartige „schwimmende“ oder „schwebende“ Gründung zu vermeiden und die Last auf eine tragfähige Bodenschicht hinabzuführen.

Als Baustoff kommt für die Pfähle in Frage Holz, Stahl, Stahlbeton und Beton.

Man unterscheidet Grundpfähle, d. h. Pfähle, die in ganzer Länge im Boden stehen, und freistehende Pfähle, d. h. Pfähle, die nur mit ihrem unteren Ende in dem Baugrund, mit dem oberen dagegen frei stehen.

Eine weitere Unterscheidung der Pfähle ist die nach Fertigpfählen und Ortpfählen: Fertigpfähle sind solche, die in fertigem Zustande auf ihrer endgültigen Verwendungsstelle angeliefert und dort nur in den Boden eingetrieben werden. Ortpfähle dagegen werden erst an ihrer Verwendungsstelle beim Einbringen in den Boden hergestellt.

#### 1. Fertigpfähle

Fertigpfähle aus Holz, Stahlbeton oder Stahl werden — mit Ausnahme der Schraubpfähle (S. 85) — durch Rammen in den Boden eingetrieben. Hierzu dienen die gleichen Rammgeräte wie bei den Spundwänden (S. 37). Das Einspülen (S. 35) erleichtert das Rammen in körnigem Boden, beeinträchtigt aber die Tragfähigkeit der Pfähle durch Lockerung des umgebenden Bodens und durch die hiermit verbundene Verringerung der Mantelreibung. Das Ziehen von Pfählen erfolgt mit dem Pfahlzieher (S. 41), kleinere Pfähle können auch mit Winde und Kette gezogen werden.

**Holzpfähle.** Holzpfähle sind bei Dauerbauten nur anwendbar, wenn sie in ganzer Länge dauernd im Wasser, d. h. dauernd unter dem niedrigsten Wasserstand stehen. Im Tidegebiet können sie bis etwa 30 cm über M.W.<sup>1)</sup> reichen, da ein Austrocknen der Pfahlköpfe im Wechsel von Ebbe und Flut infolge der starken Haarröhrchenanziehung in der Faserrichtung nicht zu befürchten ist.

Der Bestand der Holzpfähle ist auch in Salzwasser oder sonstigem Schadwasser nicht gefährdet. Lediglich an und nahe der See, namentlich in den Tropen, ist das Holz im Wasser der Zerstörung durch Bohrtiere, besonders den Bohrwurm und die Bohrassel, von etwa 50 cm unter dem Grund bis zum Mittelwasser ausgesetzt. Einen Schutz auf mindestens 20 Jahre, auch gegen Fäulnis, also besonders im Wechsel von Naß und Trocken, ergibt die Teeröltränkung der Rütgerswerke AG., Berlin.

1) Die Höhe der Fäulnisgrenze, die mit dem Schlickfall zunehmen darf, ist für alle Orte im Gebiete der Gezeiten, auch für die kleinen Unterschiede in den Wasserständen der Ostsee, festgelegt.

Bevorzugt werden entrindete Kiefernstämme, ohne daß andere Holzarten ausgeschlossen sind. Als Pfahldurchmesser sind etwa zu wählen

für Grundpfähle 22 cm  $\varnothing$  i. M. für 4 m Länge + 1,5 cm mehr je m Mehrlänge bis etwa 10 m Länge, dann nur 1 cm Zuschlag,

für freistehende Pfähle 28 cm  $\varnothing$  i. M. für 6 m Länge + 1,5 cm mehr je m Mehrlänge bis etwa 10 m Länge, dann nur 1 cm Zuschlag.

Größtmaße: etwa 45 cm Mitteldurchmesser, 20... 23 m Größtlänge.

Für die Tragfähigkeit der Grundpfähle gilt die Erfahrungsregel, daß ein Pfahl so viel  $t$  trägt, wie er cm Durchmesser hat. Bei kurzen freistehenden Pfählen gibt diese Regel auch einen Anhalt für die Wahl des Pfahldurchmessers, bei langen jedoch erfordert die Knickbeanspruchung größere Abmessungen.

Das Zopfende wird nach unten gesetzt. Die Pfahlspitze (Bild 127) muß um so stumpfer sein, je fester der Boden ist. In scharfkantigem Geröll und zum Durchrammen von Holz (alten Baumstämmen u. a.) sind mitunter Pfahlschuhe (Bild 128) angebracht, doch sollte vorerst durch Rammen und Wiederanziehen von beschuhten und unbeschuhten Probpfählen die Wirtschaftlichkeit der recht teuren Pfahlschuhe festgestellt werden.

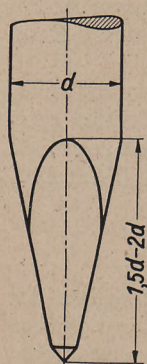


Bild 127.  
Pfahlspitze

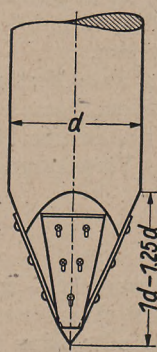


Bild 128.  
Pfahlschuh

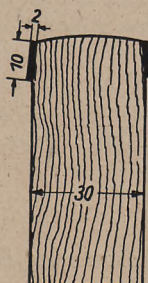


Bild 129.  
Pfahlring

Die Schuhe bestehen aus einer „kurzen“ Stahlspitze mit angeschweißten Lappen, die Langlöcher haben (Bild 128), damit nicht die Nägel bei Stauchung der Holzspitze abgeschert werden. Die Pfahlschuhe müssen genau in Pfahlachse sitzen, da sie sonst bei Auftreffen auf ein Hindernis die Pfahlspitze abbiegen und zerstören. Bei starken Hindernissen (Fels, Geröll, Mauerwerk u. a.) können Holzpfähle auch mit Pfahlschuhen nicht gerammt werden. Sie würden sich stauchen und jede Tragfähigkeit verlieren.

Der Pfahlkopf wird während des Rammens durch einen schwach kegelförmigen Pfahlring aus Stahl (Bild 129) zusammengehalten. Eine unter den Rammschlägen etwa entstehende „Perücke“ ist sofort abzusägen, da sie die Schlagwirkung stark beeinträchtigt.

Müssen die Pfähle unter die Schlagtiefe des Rammjärens oder unter Wasserspiegel geschlagen werden, wird auf den Pfahl eine Verlängerung, die Rammjanger, aufgesetzt, wodurch aber die Schlagwirkung stark geschwächt wird.

**Stahlpfähle.** Pfähle aus Stahl, die teurer als Holzpfähle sind, haben außer ihrer großen Festigkeit und Tragfähigkeit den Vorzug, daß sie nicht von Bohrtieren angegriffen werden und über Wasser nicht faulen. Zum Schutz gegen schädliche Bestandteile des Wassers und des Bodens können sie aus Sonderstählen ange-

fertigt werden. Es können mit ihnen nicht zu schwere Hindernisse (kein Fels und starkes Geröll) durchgerammt werden. Ihre Länge ist beliebig, es sind Pfähle bis zu 34 m Länge verwandt worden. Vornehmlich eignen sie sich für Stützen von Bauten, die im offenen Wasser über den Wasserspiegel reichen, besonders an der Meeresküste (Landungsbrücken, Leuchttürmen, Leuchtbaken).

Die in dem Abschnitt „Stahlspundwände“ (S. 40) aufgeführten Werke fertigen Stahlrammpfähle mit verschiedenen Querschnitten und Stärken an; zwei Beispiele in Bild 130 und 131.

Um den Pfählen ein größeres Gewicht und damit eine größere Standsicherheit gegen Horizontalkräfte (z. B. Wellenschlag) zu geben, können sie innen mit Beton gefüllt werden (Bild 132). Soll die Betonfüllung bis auf den tragfähigen Baugrund hinunterreichen, kann man die nicht tragfähige Erde mit Bohrer oder kleinem Bagger ausheben.

Stahlschraubpfähle (Bild 133) werden selten gebraucht. Ihr Niederbringen vermeidet jede Erschütterung, bedingt jedoch infolge des erforderlichen großen Kraftaufwandes ein besonderes Spill zum Eindrehen. In horizontaler oder schräger Richtung eingebaut, sind sie auch zur Verankerung von Spundwänden benutzt worden.

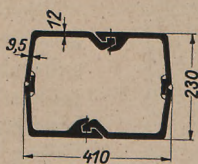


Bild 130.  
Stahlrammpfahl III  
(Hoersch A.G.)

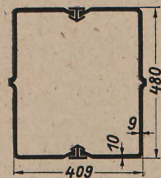


Bild 131.  
Stahlrammpfahl KP III  
(Friedrich Krupp A.G.)

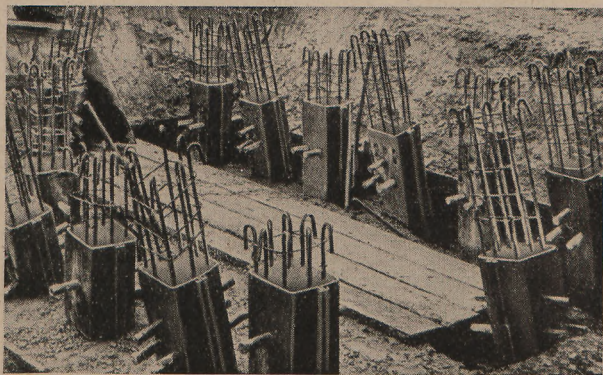


Bild 132. Tiefer Pfahlrost aus Stahlpfählen

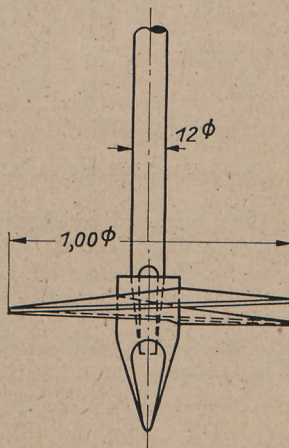


Bild 133.  
Stählerner Tellerschraubpfahl

**Stahlbetonrammpfähle.** Rammpfähle aus Stahlbeton lassen sich in jeder beliebigen Stärke und Länge herstellen, soweit nicht durch ihr großes Gewicht (von etwa 20 m Länge ab) ihre Beförderung und das Einrammen zu sehr erschwert werden. Sie haben die gleichen Vorzüge wie die Stahlpfähle, jedoch können mit ihnen nur leichte Hindernisse durchgerammt werden. Auch sind sie gegen betonschädliche Bestandteile des Bodens und des Wassers nicht ohne weiteres wider-

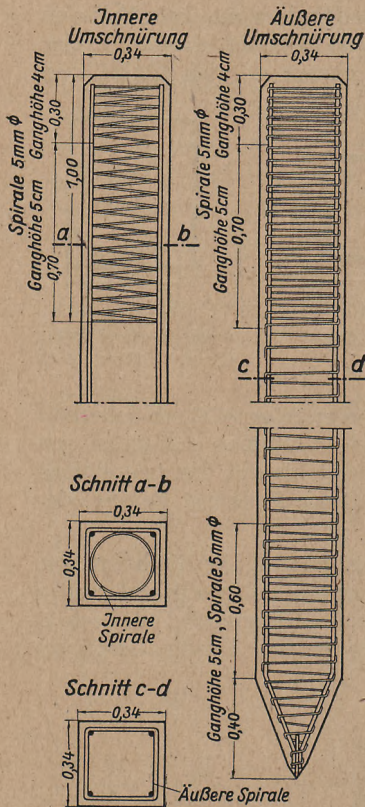


Bild 134. Stahlbetonrammpfahl

Eine genaue Bezeichnung der Angriffsstellen (Bild 135), die der Berechnung zugrunde gelegt sind, ist erforderlich. Die Beanspruchung der Pfähle beim Rammen wird bei Bemessung der Längsbewehrung meist nicht berücksichtigt, da sie rechnerisch kaum erfassbar ist.

Die Tragfähigkeit der Pfähle ist einerseits abhängig von den Beton- und Stahlabmessungen, andererseits wie bei jedem anderen Pfahl von der Übertragung der Lasten auf den Baugrund durch Mantelreibung und Spitzendruck. Diese wird

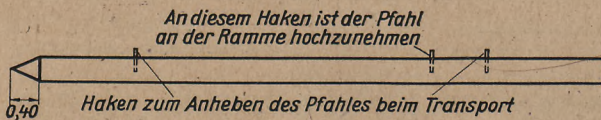


Bild 135. Stahlbetonrammpfahl mit Transporthaken

am besten durch Proberammung oder Probebelastung festgestellt. Für Vorentwurfsannahmen kann man bei Grundpfählen ungefähr je cm Seitenlänge 1,2 t Tragfähigkeit zugrundelegen.

Das Rammen der Pfähle erfolgt am besten mit dem Rammhammer (Bild 67). Bei der Verwendung anderer Rammgeräte müssen die Köpfe durch eine Ramm-

stands-fähig (vgl. Abschn. C, III). Insbesondere können bei ihrer Beförderung und beim Rammen Haarrisse entstehen, die dem Wasser das Eindringen in das Innere des Pfahles erleichtern.

Die Pfähle werden liegend meist mit quadratischem (Bild 134), aber auch mit sechs- oder achteckigem Querschnitt hergestellt. Schrägpfähle erhalten in Rücksicht auf die Durchbiegung besser rechteckigen Querschnitt. Die Ecken können abgefast werden. Die Bewehrung entspricht der von Stahlbetonstützen, am besten spiralbewehrt, wobei die Spiralen am Kopf und an der Spitze enger sind als in der Mitte des Pfahles. In Rücksicht auf die Rammschläge wird der Kopf außerdem noch durch eine innere Spirale gesichert. Die Pfahlspitzen können durch Stahlschuhe geschützt werden. Die Pfähle müssen nach ihrer Betonierung 4... 8 Wochen erhärtet sein, ehe sie gerammt werden.

Die Berechnung der Pfähle ist für verschiedene Beanspruchungen durchzuführen und zwar für die Beanspruchungen 1. beim Stapeln und Lagern, 2. bei der Beförderung vom Lager- zum Rammsplatz, 3. beim Aufnehmen der Pfähle an der Ramme, 4. beim Rammen selbst und 5. unter dem Bauwerk. Maßgeblich für die Bewehrung der Pfähle ist im allgemeinen die Beanspruchung bei der Beförderung und beim Aufnehmen an der Ramme.

haube vor Zerstörungen geschützt werden, wodurch aber die Schlagkraft erheblich herabgesetzt wird. Bei körnigem Boden kann das Einrammen erleichtert werden durch Einspülen, wozu man ein Spülrohr in der Pfahlachse einbetoniert.

Für Pfähle von großer Länge empfehlen sich zwecks Gewichtersparnis Hohlpfähle, die am besten im Schleuderverfahren als Schleuderbeton-Rammpfähle fabrikmäßig<sup>1)</sup> hergestellt werden. Sie haben den Vorteil eines geringen Gewichts sowie eines besonders dichten Betons.

Eine Sonderausführung für Wasser und Baugrund mit betonschädlichen Bestandteilen ist der geschleuderte säurefeste Mantelpfahl (Bild 136), bei dem der Schleuderbeton-Rammpfahl mit einem 4...5 mm starken Bitumenmantel umhüllt ist, der gegen mechanische Zerstörungen beim Rammen usw. durch einen schwachen geschweißten Stahlblechmantel geschützt ist.

## 2. Ortpfähle

Ortpfähle werden erst an ihrer endgültigen Verwendungsstelle, und zwar entweder im Bohrverfahren oder durch Rammen hergestellt. Sie haben gegenüber den Fertigpfählen eine größere Tragfähigkeit, soweit sie eine rauhe Oberfläche mit Wulsten oder auch statt der Pfahlspitze einen verbreiterten Fuß haben, so daß ihre Mantelreibung und ihr Spitzen- oder richtiger Fußdruck größer wird. Die Ortpfähle haben den großen Vorteil, daß ihre Länge erst während des Baues festgelegt zu werden braucht, und zwar beim Rammverfahren auf Grund der jeweiligen Rammresultate, beim Bohrverfahren durch Prüfung der erbohrten Bodenschichten.

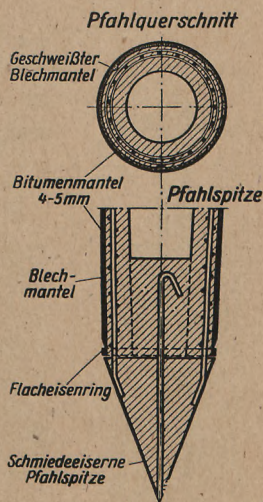


Bild 136. Geschleudertes säurefestes Mantelpfahl (Dyckerhoff & Widmann A.G.)

**Gebohrte Ortpfähle.** Bei den gebohrten Ortpfählen wird das Pfahlloch durch das Niederbringen eines Bohrrohres im Bohrverfahren (S. 7) hergestellt und hierauf unter Ziehen des Rohres mit Beton nebst den erforderlichen Stahleinlagen gefüllt. Der Vorteil der gebohrten Ortpfähle besteht darin, daß bei ihrer Herstellung die durchfahrenen Bodenschichten, insbesondere die Tiefenlage und Art des tragfähigen Baugrundes festgestellt werden. Außerdem benötigen sie nur eine sehr geringe Bauhöhe, so daß ihre Ausführung auch in niedrigen Kellerräumen möglich ist. Es entstehen bei ihrer Herstellung keinerlei Erschütterungen, was besonders für Pfahlgründungen in der Nähe bestehender Bauwerke wichtig ist.

Bei dem Straußpfahl (Fa. Dyckerhoff & Widmann, Komm.-Ges., Berlin-Wilmersdorf) wird in das niedergebrachte Bohrrohr der Beton mittels besonders ausgebildeter Eimer eingebracht und mit einem schweren Stampfer, der das Rohrinne im Querschnitt nahezu ausfüllt, unter gleichzeitigem langsamem Ziehen des Rohres kräftig gestampft. Hierbei tritt der Beton über die unteren Ränder des Rohres hinaus und bildet einen Wulstpfahl entsprechend der Festigkeit der einzelnen Bodenschichten. Soweit erforderlich werden die Pfähle mit

1) Betonwerke Cossebaude-Dresden der Fa. Dyckerhoff & Widmann, Komm.-Ges. und Beton-Schleuderwerke AG., Erlangen.



Rundstahl bewehrt. Die Tragfähigkeit eines Pfahles kann bis zu 30 t angenommen werden.

Die Herstellung der Preßbetonpfähle Wolfsholz (Fa. August Wolfsholz, Berlin-Grünwald) erfolgt im allgemeinen mit einem Rohrdurchmesser von 34 bzw. 43 cm (Bild 137). Das Bohrrohr wird nach Einbringen des Stahlgeflechtes und Einführen einer Preßluftleitung oben verschlossen. Sodann wird in das Innere

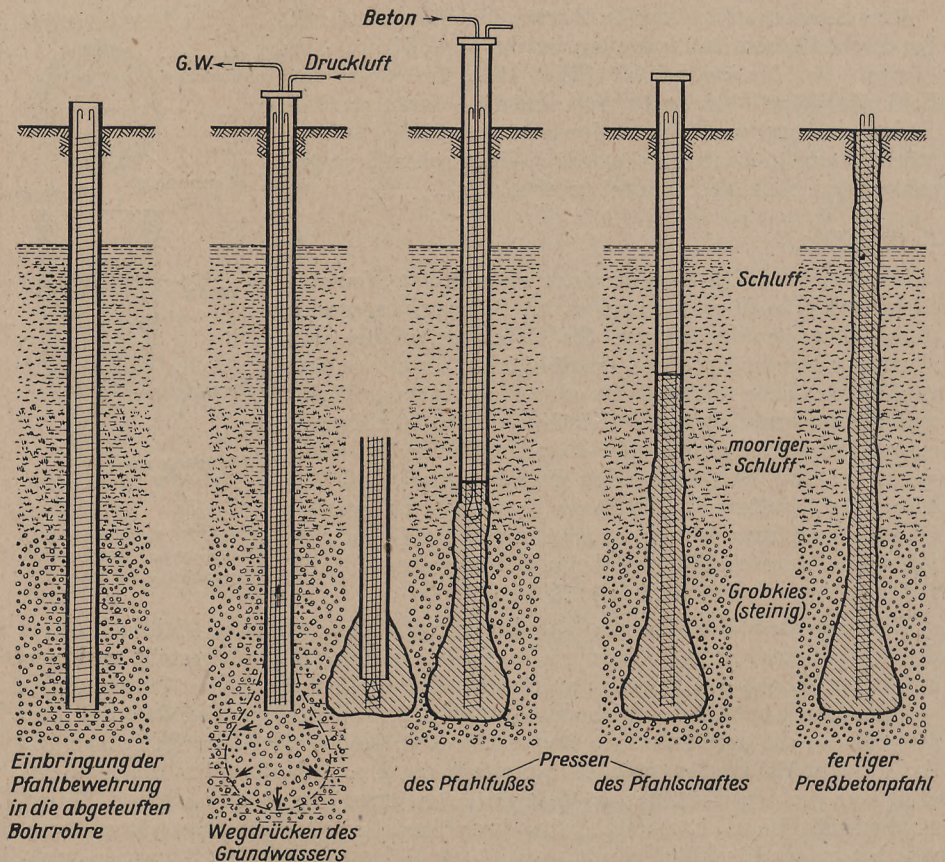


Bild 137. Preßbetonpfahl, System Wolfsholz

des Rohres Druckluft von mehreren Atmosphären Spannung eingeführt und so das im Innern des Rohres befindliche Grundwasser herausgedrückt. Hierauf wird der Pfahlbeton unter einem höherem Druck in das Bohrrohr eingepreßt, wobei das Rohr selbst entsprechend den eingepreßten Betonmengen langsam durch die Druckluft gehoben wird. Zwecks Erzeugung eines besonders verdickten Pfahlfußes wird durch eine besondere Auswurfvorrichtung das Preßgut unter großem Druck und mit sehr hoher Geschwindigkeit nach kurzem Anziehen des Bohrrohres an die umgebende Erdwandung geschleudert. Die Tragfähigkeit der

Pfähle, die von den Bodenverhältnissen, Pfahllänge und Durchmesser abhängig ist, kann zwischen 35 und 60 t angenommen werden.

Die Herstellung der Blechhülsen-Preßpfähle System Wolfsholz erfolgt in der gleichen Weise wie oben beschrieben, nur mit dem Unterschied, daß die Rohrhülsen längs des Pfahlschaftes zum Schutze des Rohres gegen betonschädliche Stoffe des Bodens und Grundwassers nicht wieder gezogen werden.

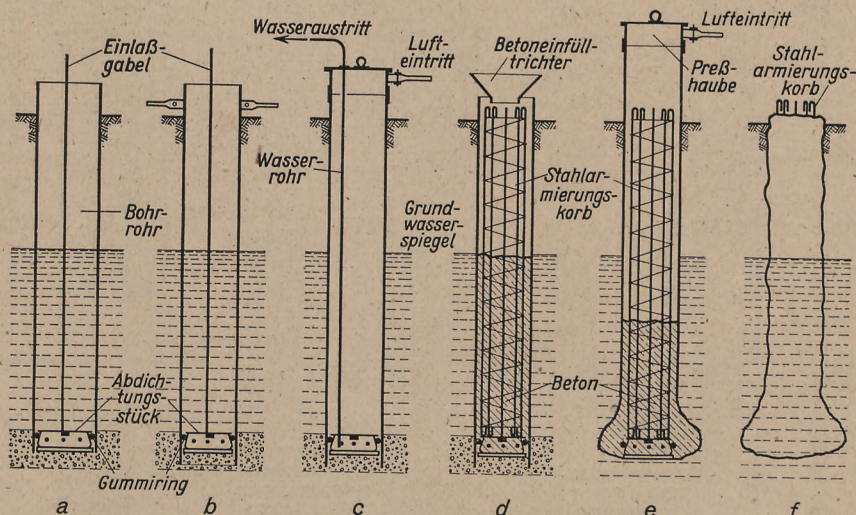


Bild 138. Preßbetonpfahl System Brechtel

Für den Preßbeton-Bohrpfahl System Brechtel (Fa. J. Brechtel, Ludwigshafen/Rhein) werden Bohrrohre von 32 und 48 cm Durchmesser verwendet. In das niedergebrachte Bohrrohr wird das Abdichtungsstück eingesetzt (Bild 138 a) und mit der Einlaßgabel (Bild b) angezogen. Hierauf wird das Wasserrohr und das Druckluftrohr eingesetzt und das Rohr oben verschlossen (Bild c). Sobald nun das Wasser durch die Druckluft herausgeblasen ist, setzt man den Armierungskorb ein und füllt eine bestimmte Menge Beton nach (Bild d). Durch Einblasen von Druckluft löst sich das Abdichtungsstück automatisch, und der gepreßte Beton wird in die Hohlräume des Erdreiches hineingedrückt (Bild e). Hierdurch entsteht ein Wulstpfahl mit Fuß, während sich gleichzeitig das Bohrrohr aus dem Boden herausdrückt (Bild f). Die Tragfähigkeit des Pfahles ist bei 32 cm Durchmesser 30 ... 35 t, bei 48 cm Durchmesser 70 ... 100 t.

Die Bohrrohre der Preßbetonpfähle der Fa. Grün & Bilfinger AG., Mannheim, haben vorwiegend 34 und 50 cm Durchmesser. Auf das niedergebrachte Bohrrohr wird eine Betonierschleuse aufgeschraubt (Bild 139, a), deren luftdichter Füllraum oben eine verschließbare Einfüllöffnung und unten eine Abschlußklappe hat. Nach Schließung dieser Klappe wird in das Bohrrohr Druckluft gepreßt, wodurch das Wasser aus dem Rohrrinneren herausgedrückt wird. Der Beton wird in die Schleuse eingebracht und fällt erst nach Schließung der Einfüllöffnung in

das Rohr (Bild b), so daß der Überdruck auch während des Betonierens das Wasser aus dem Rohr zurückhält. Nach Einbringung des Betons wird statt der Beton-  
schleuse ein Verschlußdeckel auf das Rohr aufgeschraubt (Bild c), durch den  
mittels einer Pumpe Druckwasser eingeführt wird, wodurch der Beton zusammen-

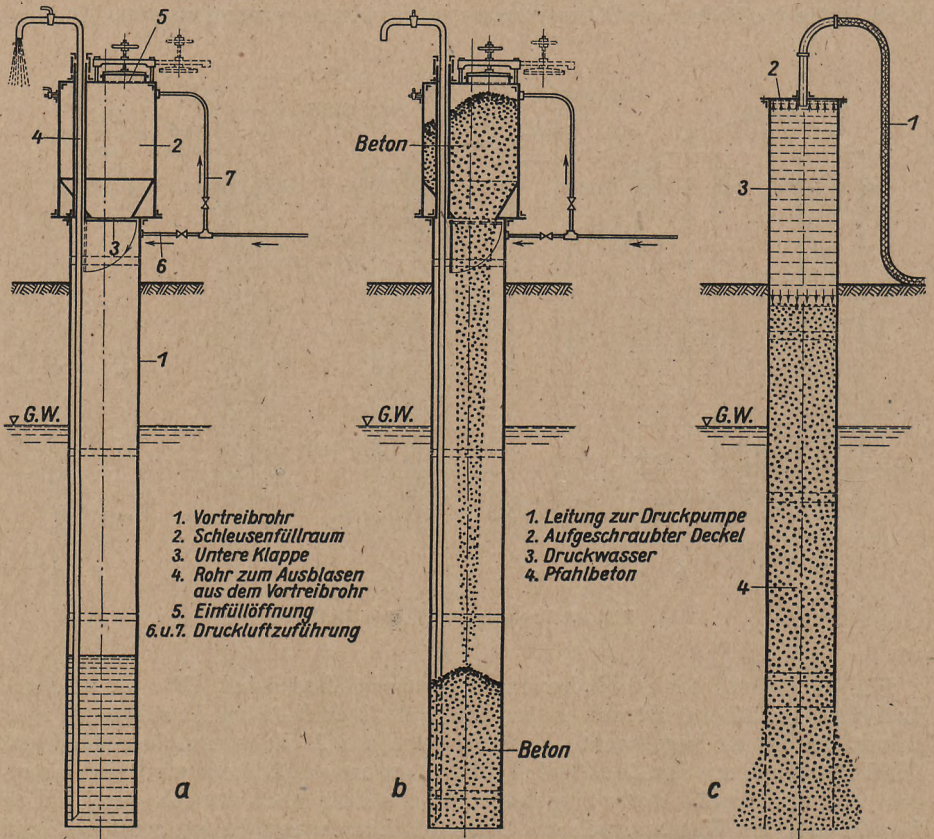


Bild 139. Preßbetonpfahl System Grün & Bilfinger

a) Bohrröhr mit Betonierschleuse b) Einbringen des Pfahlbetons  
c) Einpressen des Betons und Ziehen des Bohrröhres

und in den Boden gepreßt und gleichzeitig das Rohr gehoben wird. Tragfähigkeit eines Pfahles bei 34 cm Durchmesser rd. 30 t, bei 50 cm Durchmesser rd. 50 t.

Beton-Bohrpfahl System „Lorenz“ (Fa. Allg. Baugesellschaft Lorenz & Co., Berlin-Wilmersdorf). Nach dem Niederbringen des Mantelrohres (Bild 140, a) wird unterhalb des Rohres mit einem Spezialbohrer der Hohlraum für den Pfahlfuß im Boden ausgeschnitten (c). Ein Wasserüberdruck im Rohr soll den Fußhohlraum von Grundwasser freihalten und ein Einstürzen der oberen Wölbung verhindern. Die Ausbetonierung des Fußhohlraumes und des Pfahlschaftes (d)

erfolgt im Unterwasser-Gußbetonverfahren (S. 72). Durchmesser der Mantelrohre in der Regel 32 oder 40 cm, Durchmesser des Pfahlfußes 80 ... 125 cm. Das Mantelrohr verbleibt gewöhnlich im Boden (e), so daß die Pfahllast nicht durch die Mantelreibung, sondern nur durch den Fußwiderstand übertragen wird. Pfahl-

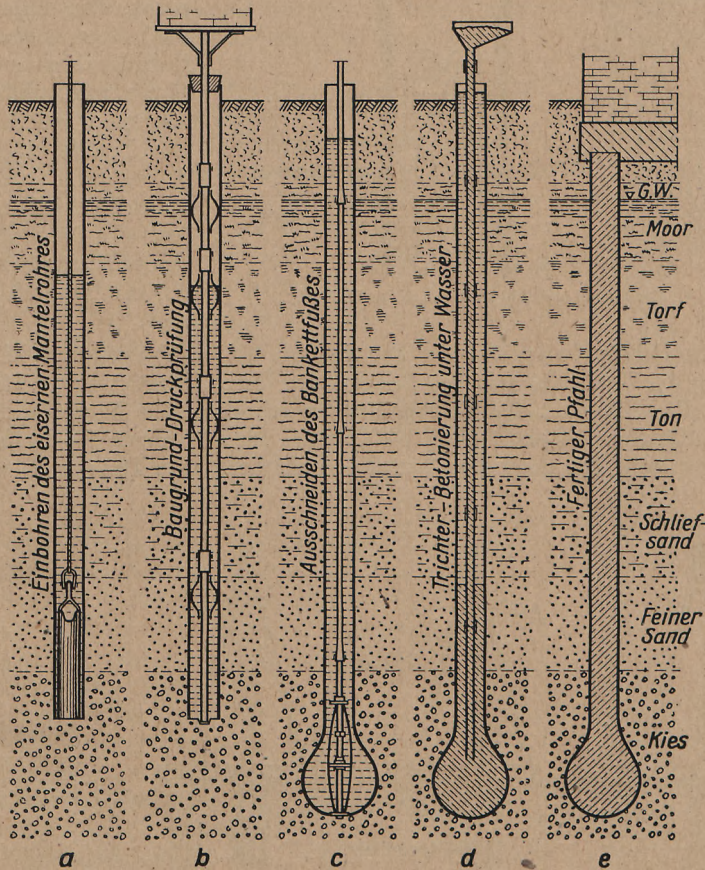


Bild 140. Betonbohrpfahl System Lorenz

belastung 40 ... 90 t je nach Größe des Fußes. Über die Prüfung der Tragfähigkeit der durchfahrenen Bodenschichten (b) s. S. 13.

Preßbeton-Bohrpfahl System „Michaelis-Mast“ (Fa. Beton- und Tiefbau-AG., Mast, Berlin). Das in üblicher Weise niedergebrachte Bohrerohr wird in voller Höhe oder in wenigen großen Absätzen mit plastischem Beton ausgefüllt, der auf einer Fußplatte (Bild 141, a) ruhend abgesenkt wird, durch die gleichzeitig das Wasser aus dem Bohrerohr verdrängt wird. Die so entstandene frische Betonsäule wird dann nach Aufsetzen einer Abschlußhaube auf das Bohrerohr

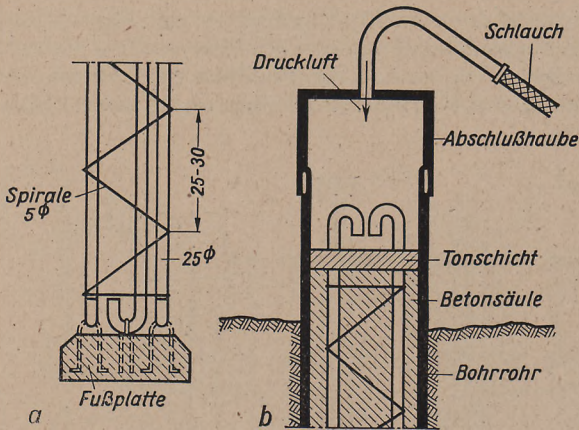


Bild 141. Preßbetonbohrpfahl System „Michaelis-Mast“

(Bild 141, b) einem Luftdruck von mehreren Atmosphären ausgesetzt, der den Beton nach unten und seitlich in den Boden hineinpreßt, das Bohrrohr aber nach oben treibt. Übliche Rohrdurchmesser 30 und 40 cm mit zulässigen Belastungen von 30 bzw. 40 t. Der Pfahl kann durch Anwendung des chemischen Fertigungsverfahrens von Dr. Joosten (S. 20) einen Klumpfuß erhalten, der die Tragfähigkeit steigert.

Bei dem Rüttelfußpfahl der Fa. Johann Keller, Frankfurt a. M., wird die Erhöhung der Tragfähigkeit des Baugrundes durch Einrütteln (S. 19) benutzt, auch die Tragfähigkeit der Betonpfähle zu erhöhen. Das Mantelrohr wird mit Hilfe des Rüttlers versenkt (Bild 142), wobei der im Innern des Rohres befindliche Boden zum Teil nach oben herausgeschleudert, zum Teil zur Seite gedrängt

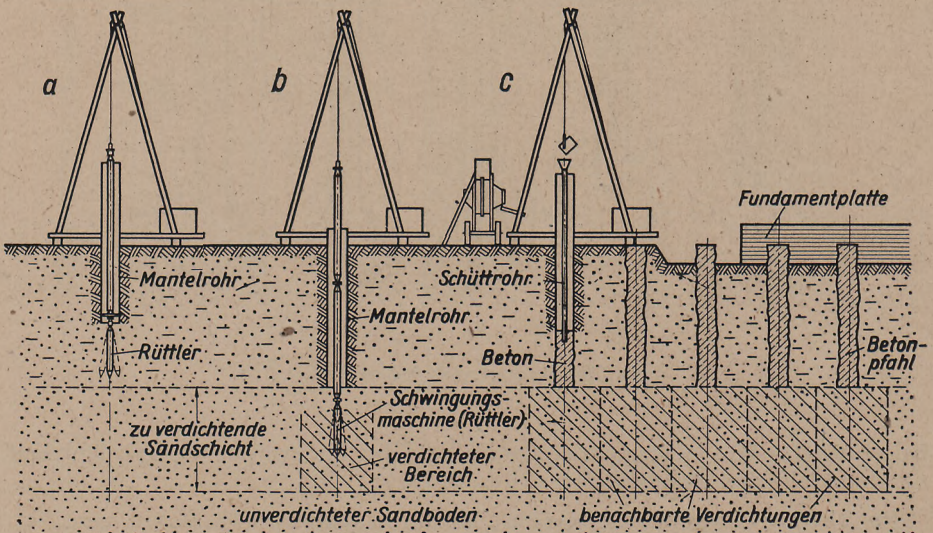


Bild 142. Rüttelfußpfahl System Keller

- a) Versenken der Mantelrohre des Betonpfahles mit Hilfe des Rütteldruckverfahrens
- b) Verdichten unter dem Pfahlfuß nach dem Rütteldruckverfahren
- c) Herstellen des Betonpfahles auf der verdichteten Sandschicht

wird. Nur bei sehr starken Ton- und Lehmschichten muß das Mantelrohr im gewöhnlichen Bohrverfahren niedergebracht werden. Unterhalb des Mantelrohres wird die Bodenschicht eingerüttelt, so daß die im Schüttverfahren hergestellten Betonpfähle (Mantelrohr gezogen) auf der verdichteten Schicht aufstehen und so einen erhöhten Fußdruck übertragen können.

**Gerammte Ortpfähle.** Bei den gerammten Ortpfählen wird ein Stahlblechrohr eingerammt und nach Erreichung der erforderlichen Tiefe mit Beton einschl. etwaiger Rundstahlbewehrung gefüllt, während gleichzeitig bei einigen Verfahren das Stahlrohr wieder gezogen wird. Im Vergleich zu der Rammung der Fertigpfähle sind bei den Pfählen mit Innenrammung die Rammerschütterungen gering.

Bei dem Betonrammpfahl System „Mast“ (Beton- und Tiefbau-AG. Mast, Berlin) wird eine 2...3 mm starke Blechhülse mit Holzspitze (Bild 143, a) mit Hilfe einer lose in der Hülse sitzenden Holzjungfer eingerammt. Nach Herausziehen der Jungfer wird die im Boden als Schutz gegen betonschädliche Bestandteile verbleibende Hülse mit Beton einschl. etwaiger Bewehrung gefüllt (Bild 143, b). Die Blechhülse wird an Ort und Stelle je nach der erforderlichen Länge an- oder abgeschweißt. Pfahldurchmesser 32 oder 40 cm, zulässige Belastung 31 bzw. 48 t. Will man die durch den Blechmantel bereits gegebene Sicherheit gegen Zerstörungen des Betons durch betonschädliche Bestandteile des Baugrundes und Wassers noch erhöhen, erhält die Blechhülse zwei (patentierete) Innenanstriche, von denen der zweite erst nach dem Rammen kurz vor dem Betonieren im Spritzverfahren eingebracht wird.

Franki-Pfähle (Franki-pfahl Baugesellschaft m. b. H., Düsseldorf) (Bild 144) sind dadurch gekennzeichnet, daß ein Rohr, 45...50 cm  $\varnothing$ , durch die Rammung eines Pfropfens aus 150...200 l erdfuchten Betons infolge der Wandreibung in die Erde gezogen und zugleich durch den Pfropfen gegen Grundwasser abgedichtet



Bild 143. Bohrrammpfahl System „Mast“  
 a) Spitze der Blechhülse b) fertiger Pfahl

wird. Dringt das Rohr nicht mehr wesentlich ein, so wird es festgehalten und der Beton unter Nachfüllung zur Herstellung eines Klumpfußes aus dem Rohr getrieben, dann das Rohr unter Abstampfen weiter gefüllt und gezogen. Amtliche Probelastungen ergaben schon eine Tragfähigkeit von 90...100 t ohne Einsinken des Pfahls. Auch in hindernisreichem Boden ist die Herstellung möglich.

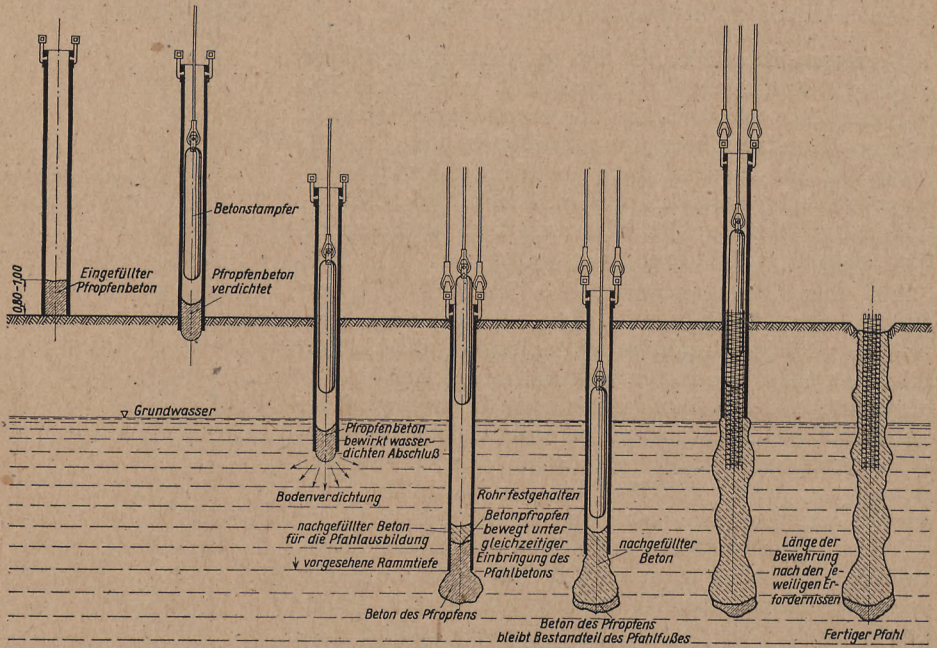


Bild 144. Frankipfahl

Für den Simplex-Betonpfahl wird ein starkwandiges stählernes Rohr, das oben durch eine Schlaghaube geschützt ist und das unten durch eine vom Rohr ablösbare Spitze gegen Wasser gedichtet ist, bis in den tragfähigen Boden gerammt. Die Einfüllung des plastischen Betons erfolgt mit Gefäßen, die einen klappbaren Boden haben (Bild 145, a). Das Rohr wird wieder herausgezogen, die Spitze bleibt im Boden (Bild 145, b). Rohrdurchmesser 30...60 cm.

Die Herstellung des Expreßpfahles der Wiener Pfahl- und Betongesellschaft m. b. H. erfolgt in der Weise, daß in das äußere Rammrohr (Bild 146, a), das unten durch eine verlorene Spitze aus Stahlbeton abgeschlossen ist, ein inneres, etwa 7 mm starkes Schutzrohr (b) eingeführt wird. Beide Rohre werden mit dem Stampfgestänge (c), das oben eine Rammhaube (d) hat, in den Boden gerammt. Nach Erreichung der erforderlichen Tiefe wird in den Hohlraum zwischen beiden Rohren die Bewehrung (e) eingeführt. Der Beton fällt durch das unten ventilartig ausgebildete Stampfgestänge in das Innenrohr. Mit dem Stamper (f) wird unter gleichzeitigem Ziehen beider Rohre — das Mantelrohr nimmt das Schutzrohr durch einen mit Ansätzen versehenen zweiteiligen Ring (g) mit — gestampft und

unterhalb der Rohre in den Boden gepreßt (h). Das Innenrohr schützt die Bewehrung vor Verbiegungen und Beschädigungen beim Einfüllen des Betons und Stampfen. Tragfähigkeit des Pfahles 80 ... 100 t.

### 3. Der Pfahlrost

Die unter einem Bauwerk angeordneten Pfähle werden als Pfahlrost bezeichnet. Man unterscheidet tiefe und hohe Pfahlroste.

Der tiefe Pfahlrost besteht aus Grundpfählen, die in den Baukörper hineinreichen und so die Lasten unmittelbar aufnehmen.

Bei dem hohen Pfahlrost werden die freistehenden Pfähle am oberen Ende miteinander verbunden, und zwar bei Holzpfählen durch eine Holzkonstruktion, bei Stahlbetonpfählen durch eine Stahlbetonkonstruktion. Diese nimmt die Lasten des Bauwerks auf und überträgt sie auf die Pfähle.

Der tiefe Pfahlrost hat den Vorteil, daß seine Herstellung einfach ist, da die besondere Tragkonstruktion am oberen Ende der Pfähle fortfällt. Er erfordert jedoch bei Verwendung von Holzpfählen ein verhältnismäßig tiefes Herunterführen des Betons, da die Holzpfähle immer unter Wasser sein müssen (S. 83). Bei Verwendung von Stahl-, Beton- oder Stahlbetonpfählen, die jedoch teurer sind, braucht das Bauwerk nur bis zur Frostgrenze (S. 62) hinuntergeführt zu werden.

Die Höhenlage des hohen Pfahlrostes aus Holz ist gleichfalls dadurch bedingt, daß alle Holzteile dauernd unter Wasser sein müssen. Er ermöglicht die Herstellung der Rostplatte knapp unter N.W., so daß bei großen Wassertiefen an dem Bauwerk selbst, das nicht tief hinabgeführt zu werden braucht, gespart wird. Die Verwendung von Pfählen anderen Baustoffes ermöglicht, die Rostplatte noch höher zu legen.

**Anordnung der Rostpfähle.** Die Stellung der Pfähle ist so zu wählen, daß sie möglichst nur achsrecht, nicht auf Biegung beansprucht werden.

Unter lotrechten Lasten wie z. B. fast immer unter Hochbauten sind die Pfähle daher lotrecht zu stellen, doch ordnet man bei großen Pfahllängen zur Erhöhung der Standsicherheit gern einige Schrägpfähle an.

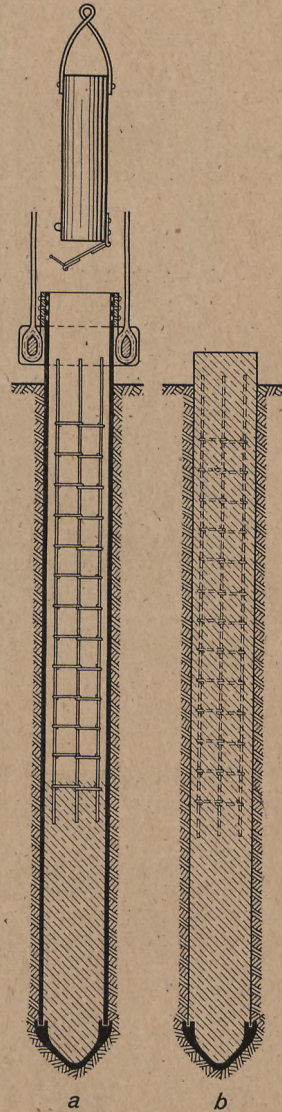


Bild 145. Simplexpfahl

- a) Eingerammtes Triebrohr mit Spitze  
b) Der fertige Pfahl



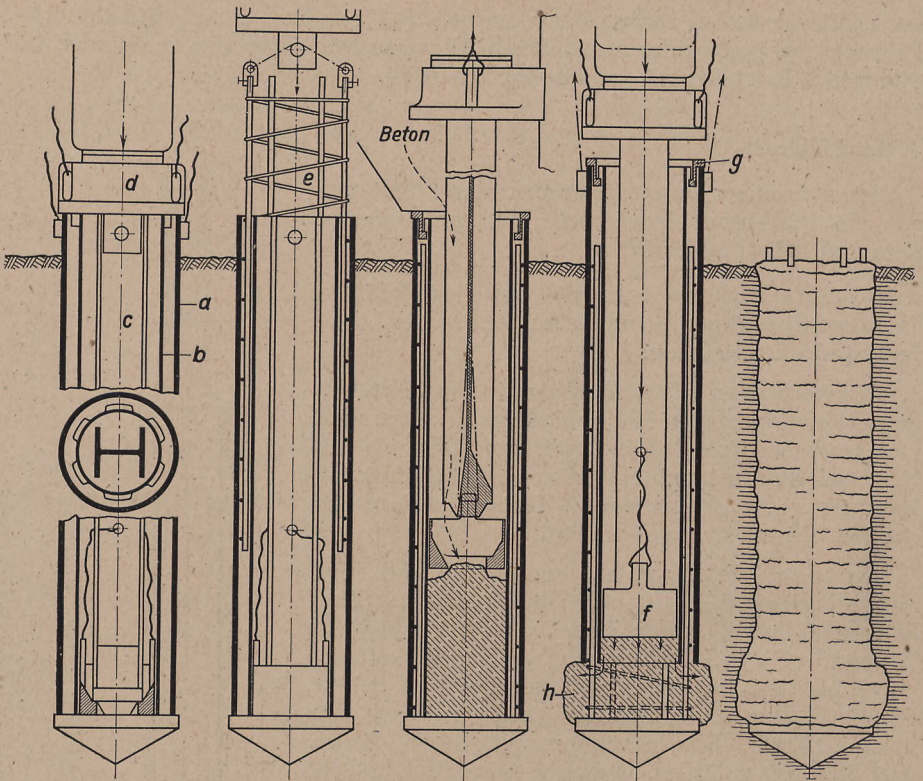


Bild 146. Bewehrter Expresßpfahl

Unbedingt werden Schrägpfähle erforderlich, wenn außer lotrechten noch waagerechte oder schräge Kräfte, wie Wind-, Erd-, Wasserdruck, Strömung, Gewölbeschub oder waagerechte Verkehrs-lasten auf das Bauwerk wirken.

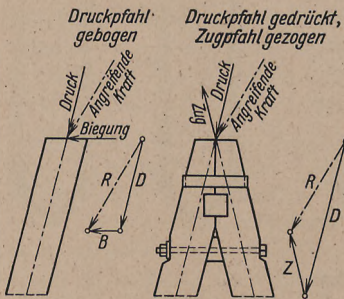


Bild 147.  
Vermeidung von Biegebeanspruchungen der Rostpfähle durch fest miteinander verbundene Druck- und Zugpfähle

Schwanken diese Kräfte nach Größe, Richtung und Lage nur wenig, so werden entweder alle Pfähle in Richtung der Mittelkraft oder teils lotrechte und (oder) schwach geneigte, teils stark geneigte Pfähle gesetzt, wobei kleine Biegebeanspruchungen infolge Wechsels der Kräfte in Kauf genommen werden müssen.

Da aber meistens die angreifenden Kräfte stark schwanken und damit die Mittelkraft verschiedene Richtungen erhält, werden gewöhnlich zugleich mit schrägen Druckpfählen auch entgegengesetzt geneigte oder lot-

rechte Zugpfähle angeordnet. Beide sind unmittelbar (Bild 147) oder mittelbar (Bild 149) miteinander zu verbinden, damit sie gleichzeitig zur gemeinsamen Wirkung kommen und keiner der Pfähle auf Biegung beansprucht wird.

Ist ein Wechsel der Druckrichtung infolge Wechsels der Belastung möglich, so ist das Bauwerk nach allen in Betracht kommenden Richtungen durch schräge Druckpfähle abzustreben, die aber mittel- oder unmittelbar miteinander zu verbinden sind, damit sie bei entgegengesetzter Krafrichtung als Zugpfähle zur Wirkung kommen (Bild 148).

In den tragfähigen Boden sollen Druckpfähle wenigstens 1,0 m, Zugpfähle 3,0 m eingreifen.

Der Abstand der Pfahlachsen ist abhängig von der Belastung, Tragfähigkeit und dem Pfahldurchmesser; üblich ist 0,6 ... 1,25 m, i. M. rd. 1,0 m, doch stets  $\geq 2d$  ( $d$  Pfahldurchmesser).

Eine sehr enge Stellung gleichgerichteter Pfähle, der Pfahlreihen an der Kreuzung verschieden geneigter Pfähle (Bild 151, 152) ist in dichtem, schwer rambbarem Boden bedenklich, weil dessen Verdichtung so stark werden kann, daß die Pfähle durch das Rammen beschädigt werden. Der Boden kann bei zu enger Pfahlstellung sogar so verdichtet werden, daß ein Einrammen der letzten Pfähle unmöglich wird. In leichtem Boden bestehen weniger Bedenken gegen eine engere Pfahlstellung.

Soweit es durchführbar, wird man die Pfähle zweier Nachbarreihen versetzt zueinander anordnen (Bild 151), um ihren Abstand etwas zu vergrößern und zugleich den Baugrund gleichmäßiger zu belasten.

**Der tiefe Pfahlrost.** Bei dem tiefen Pfahlrost greifen die Pfähle unmittelbar in das Fundament des Bauwerks ein. Pfähle, die nur auf Druck beansprucht werden, binden 20 ... 30 cm, Zugpfähle mindestens 60 cm ein. Stahlbetonpfähle werden 10 ... 20 cm voll in das Fundament hineingeführt, darüber wird ihre Kopfbewehrung freigelegt und abgebogen. Eine ähnliche Verbindung von Stahlpfählen mit dem Bauwerk zeigt Bild 132. Der Kopf hölzerner Zugpfähle wird dübelartig angeschnitten und mit Rundstahl in dem Bauwerk verankert (Bild 149 und 150). Die Mindeststärke des Fundaments ergibt sich demnach zu 0,5 ... 1,0 m.

Bei größeren Pfahlabständen, d. h. unter Bauwerken, die nur geringe Lasten haben, wird das Fundament bewehrt. Auch bei näher stehenden Pfählen empfiehlt sich eine leichte Bewehrung des Fundaments zum sicheren Zusammenhalt, besonders wenn schräge oder waagerechte Kräfte auf die Pfähle zu übertragen sind (Bild 151). Doch müssen die Stahleinlagen 3 ... 4 cm von den Pfählen abbleiben, damit sie vollständig von Beton umhüllt werden und namentlich bei Holzpfählen nicht durch deren Feuchtigkeit rosten.

Zum Schutze des Betons gegen Schadwasser wird auf Holzpfähle zuvor noch eine Haube aus asphaltbitumenge tränckter Jute (S. 116) aufgeklebt (Bild 150) und unter die

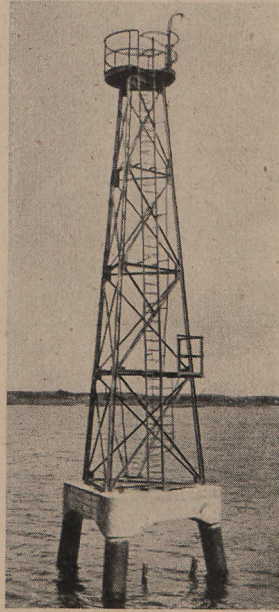


Bild 148. Leuchtfeuergründung auf Schleuderbetonrammpfählen

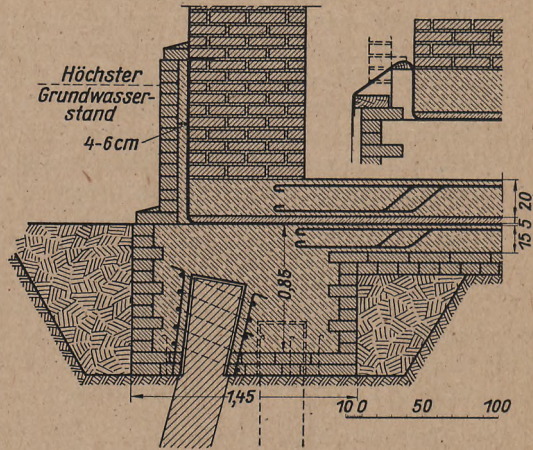
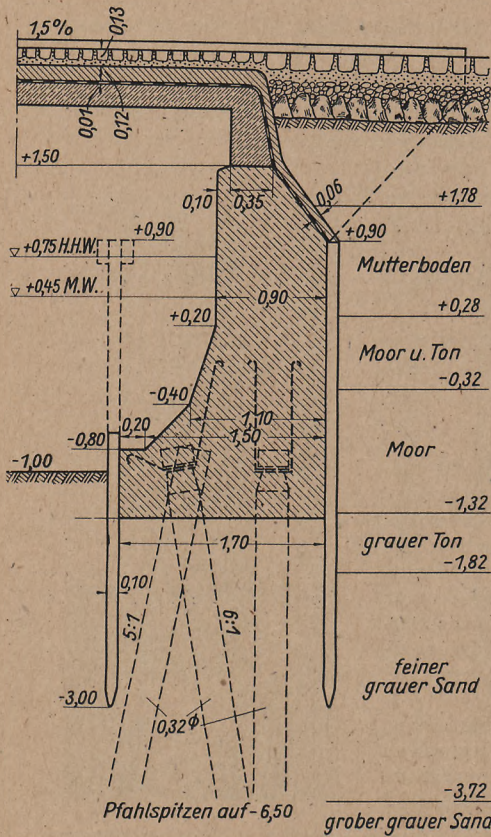


Bild 150. Holzpfahlbetonrost eines Gebäudes mit Schutz gegen betonschädliches Grundwasser und Abdichtung des Kellers, Grundwasserabsenkung vorausgesetzt

Sohle des Fundaments eine Schutzschicht aus Klinkern in Zement- oder Bitumenmörtel eingebracht, während die Seitenflächen einen sonstigen Außenflächenschutz erhalten.

Die Naßbetonierung (S. 70) schließt eine regelrechte Betonbewehrung und vorgenannte Sicherungen gegen Schadwasser aus, doch kann sie bei Abwesenheit betonschädlicher Stoffe zur Herstellung einer abdichtenden Betonsohle (S. 59) in der Baugrube dienen. Zugpfähle müssen über diese Betonsohle hinausreichen, um nachher im Trocknen ihre Köpfe zum Einbinden bearbeiten zu können.

Für einen tiefen Pfahlrost kommt eine Rostplatte aus Holz mit Klinkerübermauerung, selbstverständlich auf Holzpfählen, nur in Schadwasser in Frage, wenn eine andere Sicherung des Fundaments zu kostspielig, Holz aber sehr billig ist, wobei Voraussetzung, daß N. N. W., im Gebiet der Gezeiten M. W., wenigstens 30 cm über Oberkante Rostplatte steht. Doch sollten dann auch die Holzverbindungen möglichst ohne in Schadwasser

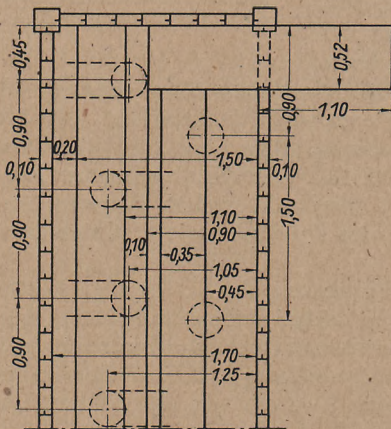


Bild 149. Tiefer Holzpfahlrost unter einem Brückenwiderlager

besonders gefährdete Stahlteile hergestellt werden, also ohne Bolzen, Anker, Laschen, Stahlnägel, was im allgemeinen nur bei lotrechten, allenfalls noch schwach geneigten, nicht stark beanspruchten Schrägpfählen durchführbar ist (Einzelheiten S. 102).

**Der hohe Pfahlrost.** Durch einen hohen Pfahlrost wird in offenem Wasser an Wasserhaltung und an Höhe und Stärke des Bauwerks gespart, was allerdings zum Teil durch die Mehrkosten für die längeren Pfähle ausgeglichen wird. Am vorteilhaftesten ist ein hoher Pfahlrost im Gebiet der Gezeiten, wenn man an den unter H.W. auszuführenden Bauteilen nur während der tieferen Wasserstände arbeitet und sie von den höheren überfluten läßt — Tidebetrieb.

Unbedingt erforderlich ist der hohe Pfahlrost, wenn am offenen Wasser das Bauwerk selbst nicht bis auf die Sohle hinabgeführt werden kann, z. B. bei Ufermauern. Dort wird meistens unter dem Rost zwischen den Pfählen die Sohle abgeböschet (Bild 151). Sie wird jedoch nicht gänzlich bis zum Ufer heraufgeführt, da dann das Bauwerk selbst und der Pfahlrost zu breit werden würden. Hinter dem Pfahlrost wird vielmehr eine Spundwand geschlagen, die ein Abrutschen der Hinterfüllung verhindert.

Es ist jedoch auch möglich, die Spundwand vor den Pfahlrost zu setzen (Bild 152). In diesem Falle ist der aufzunehmende Erddruck größer und die Spundwand länger. Jedoch ist diese Anordnung zu wählen,

wenn der Boden so nachgiebig ist, daß er keine Gewähr für den Halt einer Böschung in strömendem und wellenbewegtem Wasser bietet und eine hintere Spundwand ebenso lang und stark werden müßte wie eine vordere,

wenn die vordere Spundwand in stärkerer Strömung als Schutz der Pfähle gegen Sand- und Eisschliff oder als Schutz von Stahlbetonpfählen gegen Schiffsstöße und dadurch mögliche Risse oder aus Stahlbeton oder Stahl als Schutz von Holzpfählen gegen Bohrtiere dienen soll.

Wichtig ist ein möglichst schneller Ausgleich der Wasserspiegel vor und hinter der Ufermauer, damit diese und die Spundwand nicht einem zu starken Wechsel des Wasserdrucks beim Fallen und Steigen des Außenwassers unterworfen sind. Es sind daher unter N. N. W. Löcher in der Spundwand vorzusehen, hinter die ein Kiesfilter einzubauen ist (Bild 151, 152), und darüber Spundwand und Mauer nur mit durchlässigem, körnigem Boden zu hinterfüllen.

Für die **Rostpfähle** werden im allgemeinen auch heute noch Holzpfähle gewählt, weil sie gegenüber den Stahlbetonpfählen eine größere Elastizität haben, weswegen sie Bewegungen der Mauer, hervorgerufen durch Schiffsstöße, ohne Beschädigung nachgeben können.

Stahlbetonpfähle kommen in Frage bei Pfahllängen über etwa 20 m, für die Holzpfähle kaum zu beschaffen sind, und unter sehr schweren Kaimauern, die eine sehr enge Stellung der weniger tragfähigen Holzpfähle bedingen. Die größere Tragfähigkeit der Stahlbetonpfähle wird auch unter leichteren Ufermauern dazu ausgenutzt, diese in Verbindung mit einer weitgespannten Rostplatte aus Stahlbeton in statisch eindeutiger Weise, womöglich in nur zwei Längslinien, zwecks sparsamster Bemessung des Pfahlrostes zu unterstützen (Bild 160).

Heute werden fast nur noch Druckpfähle im Verein mit Zugpfählen verwendet, weil dies am wirtschaftlichsten ist; nur bei besonders breiter Rostplatte, die zur Überdeckung einer Böschung dient und den Bau weit ins Ufer hinein verankert, reichen bei geringem Wechsel der angreifenden Kräfte lotrechte oder

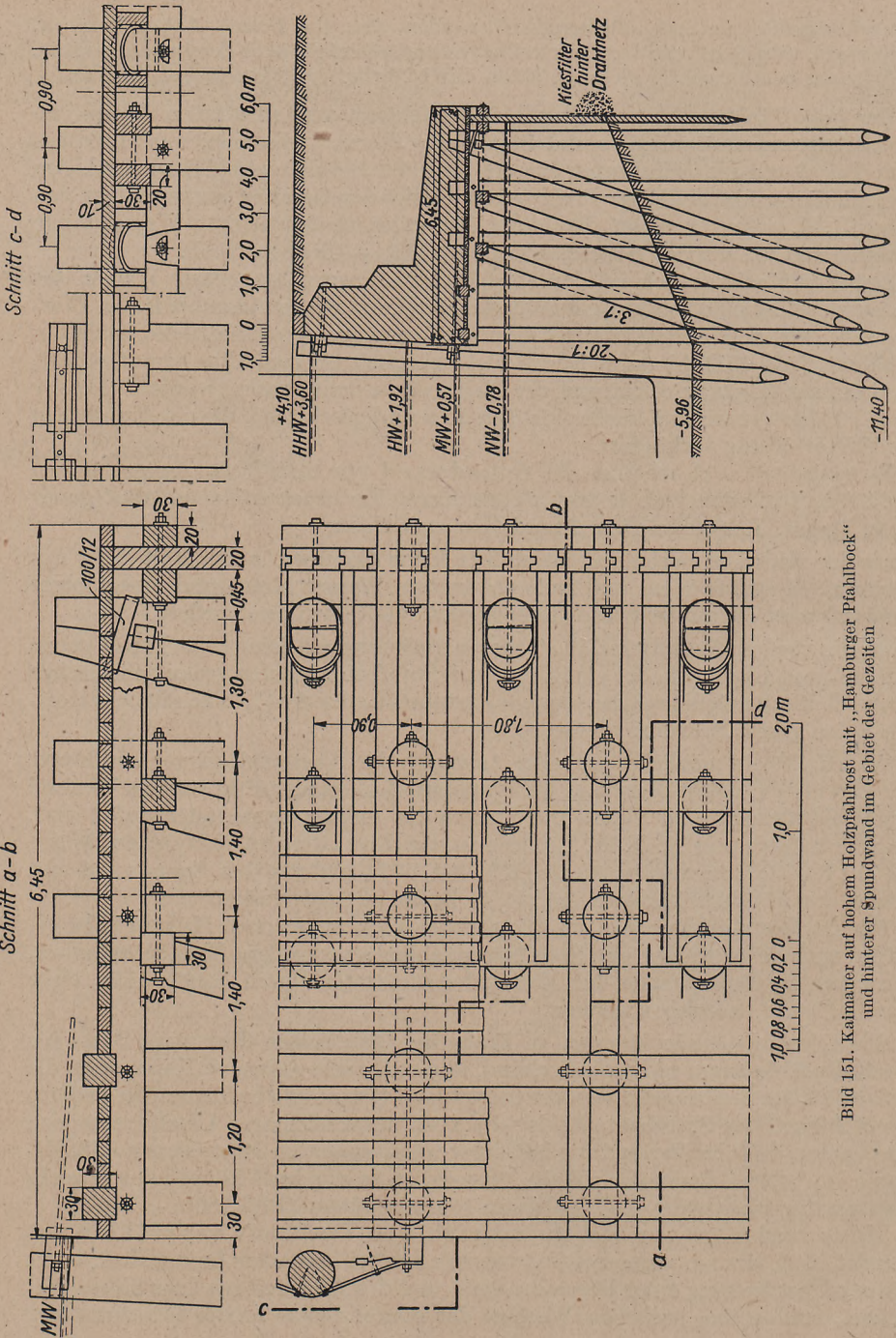


Bild 151. Kaimauer auf hohem Holzpfahlrost mit „Hamburger Pfahlbock“ und hinterer Spundwand im Gebiet der Gezeiten

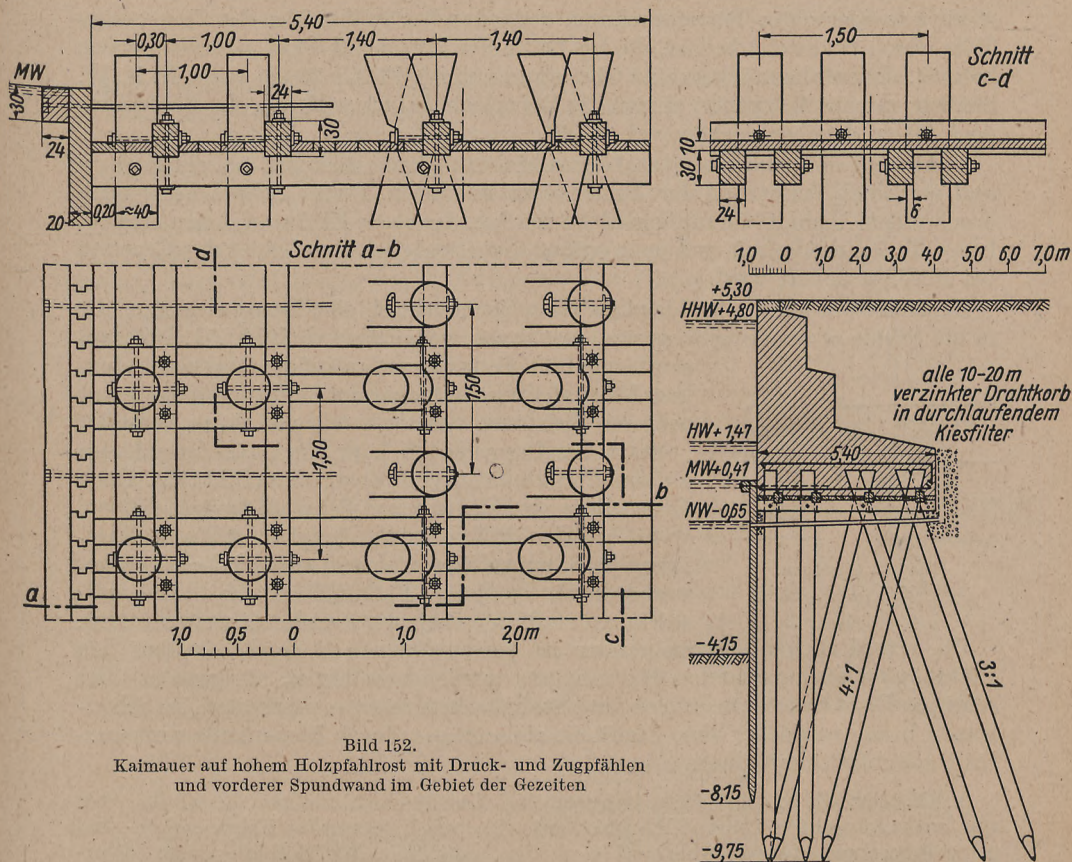


Bild 152.

Kaimauer auf hohem Holzpfahlrost mit Druck- und Zugpfählen und vorderer Spundwand im Gebiet der Gezeiten

(und) wenig geneigte Druckpfähle, vielleicht noch unterstützt durch einige stärker geneigte Druckpfähle, aus.

Die Pfähle werden in Reihen gesetzt, die mit der Krafrichtung gleichlaufen. Sie werden durch die Rostplatte zu Jochen zusammengefaßt und so auch in ihrem Abstand in der Längsrichtung der Mauer gehalten. Sie dürfen in Rücksicht auf den Schiffsverkehr nicht vor die Mauerkante vortreten, damit sie nicht beschädigt werden. Daher sind stärker geneigte Druckpfähle ziemlich weit zurück und meist in ein Zwischenjoch zwischen den Hauptjochen der Lotpfähle zu setzen (Bild 151, 152).

In dem Hamburger Pfahlbock (Bild 151) sind ein bis 2,5 : 1 geneigter Druckpfahl und ein lotrechter Zugpfahl unmittelbar durch einen warm aufgezogenen Stahling — winkelrecht zum Druckpfahl — verbunden und durch einen Eichenholzdübel verkeilt. Er wird vor die hintere Spundwand gesetzt und mit dieser verbolzt, fängt so unmittelbar den Erddruck auf die Spundwand ab und entlastet so die übrigen Pfähle.

Die Rostplatte über Holzpfählen wird meist in der altüberlieferten Weise als Holzrost ausgeführt, obwohl dieser nicht gerade billig ist und bei wechselnder

starker waagerechter Beanspruchung, auch durch Schiffsstöße, des Zusammenhalts durch Stahlteile bedarf, die im Laufe der Zeit durch Rost zerstört werden können. Jedenfalls müssen seine Oberkante und die Pfähle 30 cm unter N. N. W. bleiben; nur im Tidegebiet dürfen die Rostplatte bis etwa M. W., die Rostpfähle noch 30 cm darüber reichen (vgl. S. 99).

Unbedingt sind die Stahlteile zum Schutz gegen Rost gut zu verzinken und vor einer Verletzung der Zinkhaut zu bewahren. Dieser Schutz kann noch durch einen Asphaltüberzug verstärkt werden, der nach Einbau auf den erreichbaren Teilen wiederholt und auch später soweit möglich (im Gebiet der Gezeiten bei N.W.) erneuert wird.

Zunächst werden die Pfähle eines Hauptjoches durch eine Doppelzange, die in die Pfähle etwas eingelassen und mit ihnen verbolzt wird (Bild 151, 152), zusammengefaßt. Sodann werden auf die Querverbindungen Längsholme aufgekämmt und häufig noch zur weiteren Sicherung des Verbands mit ihnen verbolzt.

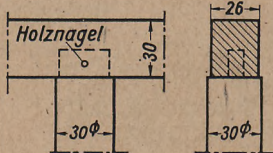


Bild 153. Querholm, auf Rostpfahl aufgezapft

Statt der Doppelzange kann auch ein Querholm auf die Pfahlköpfe aufgezapft werden (Bild 153). Doch kann diese Ausführung zu Schwierigkeiten führen, wenn einzelne Pfähle infolge ungleichmäßiger Rammung (z. B. wegen Hindernissen) aus der Reihe ausgewichen sind. In diesem Falle müssen die Holme seitwärts an den Pfählen befestigt werden (s. weiter unten).

Die erforderlichen, gegeneinander zu versetzenden und tunlichst über den Pfahlköpfen anzuordnenden Holmstöße werden gewöhnlich als gerades oder schräges Blatt durch zwei angebolzte Stahllaschen zusammengehalten, in Schadwasser besser rosticher ohne Stahlteile als schräges, durch Eichenkeile verspanntes Hakenblatt ausgeführt.

An Mauerecken und -kreuzungen sind Laschenverbindungen allenfalls, aber nur unter lotrechten Lasten (Hochbauten) entbehrlich, wenn die Holme haken- und schwalbenschwanzförmig überblattet werden, oder mit der Höhenlage der Quer- und Längsholme der beiden Mauerfluchten gewechselt wird, oder die Längsholme der einen Flucht als Querholme der anderen durchgeführt und deren Längsholme daraufgelegt werden, so daß ein Absatz entsteht. Ist der Schnittwinkel der anstoßenden Mauern spitz oder stumpf, so werden die Querholme mit 2...4 Stück aus der schrägen Lage nach und nach in die winkelrechte gedreht.

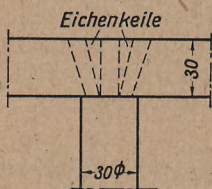


Bild 154. Verkeilter Zapfen zur zugfesten Verbindung von Pfahl und Holm

Schrägpfähle greifen gewöhnlich mit Klaue um die Längsholme und werden zur Sicherung des Eingriffs mit ihnen verbolzt (Bild 152, 155). Doch muß der Kopf von Zugpfählen genügend lang sein, damit nicht der Abschnitt, der den Zug aufzunehmen hat, abgeschert wird. Die Zugpfähle in den Hauptjochen zwischen deren Doppelzangen werden auch noch mit diesen zur weiteren Sicherung verbolzt (Bild 152, 155).

In Schadwasser ist die Verbindung der Schrägpfähle mit den Holmen des Rostes ohne Stahlteile, falls keine größeren waagerechten Kräfte aufzunehmen sind, dadurch möglich, daß die Pfähle in die Querholme mit Zapfen eingreifen, die bei Zugpfählen ganz durchgreifen und von oben mit Eichenkeilen verkeilt werden (Bild 154). Diese Verbindung

findet auch auf die Grundswellen hölzerner Schleusen- und Sielböden, die unter Auftrieb stehen, Anwendung.

Der Bohlenbelag, 6... 10 cm stark, wird meistens zwischen den oberen Längsholmen auf die Querholme oder Doppelzangen aufgenagelt — am besten, in Schadwasser immer, mit Hartholznägeln.

Die Ausführung einer hölzernen Rostplatte in der geschilderten Weise ist vielfach, besonders wenn Schrägpfähle vorhanden sind, nicht einfach, weil die Pfähle nach dem Rammen oft ihre entwurfsmäßige Stellung nicht haben. Dem wird häufig durch Zwängen der Pfähle in ihre Sollage abgeholfen. Doch ist dies nur möglich, wenn die Pfähle auf eine größere Länge freistehen, zum mindesten in nachgiebigem Boden stehen, bei tiefem Pfahlrost und festerem Untergrund kaum ausführbar. Auch darf das Zwängen nicht zu weit getrieben werden, weil dadurch Nebenspannungen in den Pfählen entstehen, die ihre Tragfähigkeit herabsetzen.

Es sind dann Behelfsverbindungen anzuordnen, die aber zum Teil dadurch vermieden werden können, daß man ohne Bedenken die Längsholme von Stoß zu Stoß etwas schräg laufen läßt, auch am Stoß zueinander etwas versetzt, und die Querholme oder Doppelzangen nicht genau winkelrecht zur Mauerkante legt. Ferner können die Längsholme von der Klaue der gern von ihrer vorgesehenen Richtung abweichenden Schrägpfähle, je nachdem wie der Pfahl steht und das sichere Eingreifen

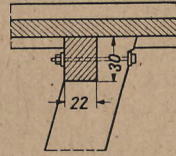


Bild 155. Längsholm vom Druckpfahl von hinten gefaßt

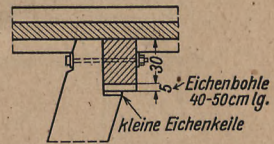


Bild 156. Verbreiterung der Druckfläche eines Druckpfahles

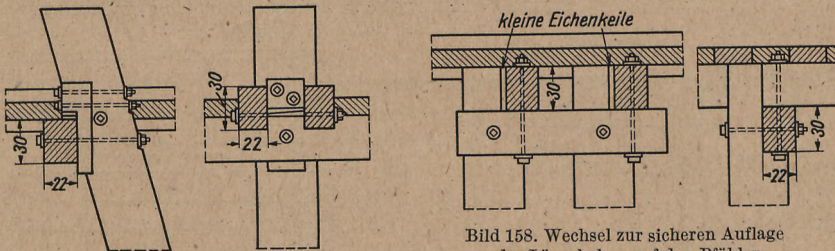


Bild 158. Wechsel zur sicheren Auflage der Längsholme auf den Pfählen

Bild 157. Sattelholz zur Verbreiterung der Druckfläche eines Zugpfahles

ermöglicht, sowohl von vorn (Bild 151, 152) wie von hinten (Bild 155) umfaßt werden. Eine etwas zu schmale Druckfläche der Klaue unten (Druckpfahl) oder oben (Zugpfahl) wird durch eine unter- oder überkeilte Eichenbohle von der Breite des Holms und 40... 50 cm Länge verbreitert (Bild 156),

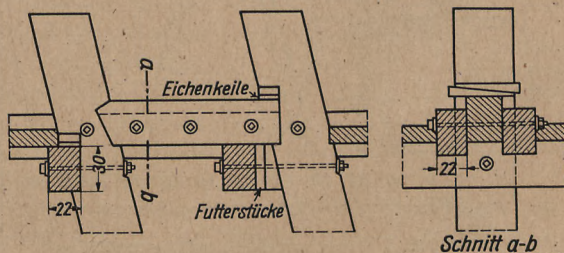


Bild 159. Querriegel zum Fassen eines in den Längsholm nicht eingreifenden Zugpfahles



die Klaue bei sehr geringer Breite nicht mehr ausgeschnitten und dafür unter oder über dem Holm ein entsprechend vorstehendes Sattelholz in den Pfahl eingesetzt und mit ihm verbolzt (Bild 157)<sup>1)</sup> oder ein Wechsel (Bild 158)<sup>1)</sup> oder Querriegel (Bild 159)<sup>1)</sup> zwischen den Nachbarpfählen eingesetzt.

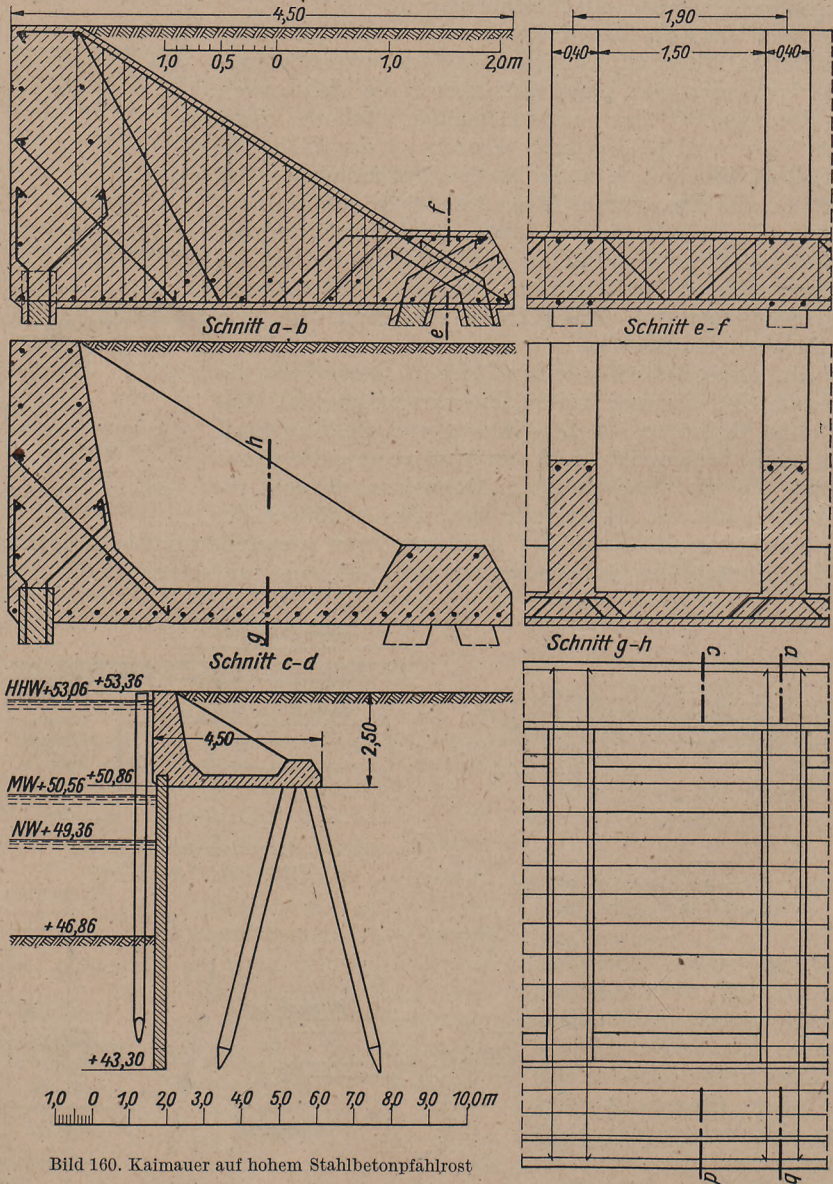


Bild 160. Kaimauer auf hohem Stahlbetonpfahlrost

1) Nach Brennecke-Lohmeyer, Band II, Bild 150.

Vorerwähnte Schwierigkeiten bereitet ein Betonrost nicht, da in ihn an jeder Stelle ohne weiteres die Pfähle, wie sie gerade stehen, in der auf S. 97 angegebenen Weise eingebunden werden können. Jedoch macht die Herstellung der Schalung für den Beton beim hohen Pfahlrost mitunter Schwierigkeiten. Denn diese ist nur entbehrlich, wenn die Ufermauer, z. B. beim Bau eines Hafens, vor dessen Ausbaggern auf Land in einer Baugrube ausgeführt wird oder eine vorgesehene vordere Spundwand nach Verankerung bis zur Unterkante des Betonrostes hinterfüllt wird. Im offenen Wasser müssen an Holzpfähle Zangen angebolzt oder, jedenfalls an Stahlbetonpfähle, Doppelzangen angeklemt und auf diese die Schal Bretter aufgenagelt werden. Muß dies unter Wasser geschehen, wie immer bei Holzpfählen außerhalb des Tidegebiets, so ist dazu Wasserhaltung und eine wasserdichte Umschließung der Baustelle oder die Hilfe von Tauchern erforderlich und die Schalung meistens verloren.

Ein statisch genau bemessener Stahlbetonrost wird im offenen Wasser in der Regel auf Stahlbetonpfählen und meistens, um jegliche Wasserhaltung zu ersparen, über dem Wasserstand der Bauzeit zur Ausführung kommen. Eine Kaimauer wird aber in Rücksicht auf etwaige Schiffsstöße nicht zu leicht gehalten, sondern durch Rippen versteift werden (Bild 160).

#### d) Druckluftgründung

##### 1. Senkkastengründung

Ein geschlossener Kasten ohne Boden, meistens aus Stahlbeton, vom Grundriß des Bauwerks und 2,50 ... 3,0 m lichter Höhe wird über die Baufläche gestülpt. Entsprechend dem äußeren Wasserdruck wird Druckluft eingepreßt, wodurch der Innenraum wasserfrei wird und der Boden unterhalb des Senkkastens im Trocknen gelöst werden kann (Bild 161, bei a), so daß der Senkkasten allmählich bis auf den tragfähigen Baugrund absinken kann (Bild 161, 2). Gleichzeitig mit dem Absenken wird das über dem Senkkasten aufgehende Bauwerk hochgeführt (Bild 161, bei b). Nach Erreichung der erforderlichen Tiefe wird der Senkkasten mit Beton ausgefüllt (Bild 161, 2).

Die Druckluftgründung findet namentlich Anwendung bei tiefen Gründungen im offenen Wasser, wenn starker Wasserandrang oder schwere Hindernisse im Untergrund, wie Findlinge, Baumstämme, einfachere Gründungen ausschließen oder die Gründungstiefe (z. B. infolge Unterspülungsgefahr) für andere Bauweisen zu groß ist.

Senkkasten. Der Senkkasten (caisson) erhält zur Aufnahme des Bauwerks eine sehr kräftige Decke und starke Seitenwände mit um so stärkerem Anlauf nach innen, je nachgiebiger der Boden ist, damit der Hohlraum nicht unter Mannshöhe einsinkt (Bild 164). Decke und Wände müssen luftdicht sein.

Schachtrohr. Zum Ein- und Aussteigen der Mannschaft, zum Fördern von Boden und Baustoffen ist in die Senkkastendecke ein Schachtrohr (Bild 164) ein-

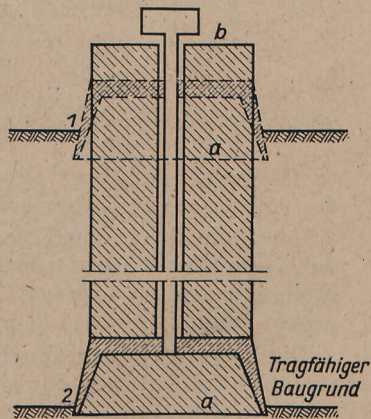


Bild 161. Vereinfachte Darstellung einer Senkkastengründung

gesetzt, das aus Stahlrohren mit Innenflanschen und dazwischengeklemmter Gummischnur luftdicht zusammenschraubt ist (Bild 162). Der unterste Rohrstutzen ist in der Senkkastendecke einbetoniert. Um die übrigen Schachtrohre bleibt beim Hochführen des Bauwerks während der Absenkung ein Hohlraum, um die Rohre wiedergewinnen zu können.

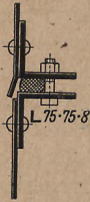


Bild 162.  
Verbindung  
der Schacht-  
rohre

Luftschleuse.<sup>1)</sup> Damit der Überdruck im Innern des Senkkastens und der Schachtrohre beim Ein- und Auslaß der Belegschaft und beim Ein- und Ausbringen des Materials nicht absinkt, ist am oberen Ende des Schachtrohres eine Luftschleuse angebracht (Bild 163). Sie enthält 1... 3 Kammern, die einerseits mit dem Arbeitsraum, andererseits mit der Außenluft durch einen Hahn zum allmählichen Ausgleich des Luftdrucks und durch eine mit Gummi abgedichtete Tür oder Klappe zum Ein- und Ausschleusen von Menschen oder Baustoffen in Verbindung gesetzt werden können.

Für einen ununterbrochenen Betrieb sind zwei Kammern erforderlich, um die eine mit Boden anfüllen zu können, während die andere entleert wird. Eine etwaige dritte Kammer (Bild 163) dient dem Ein- und Ausschleusen der Mannschaft.

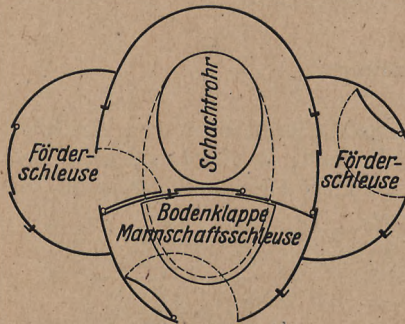


Bild 163. Grundriß einer dreiteiligen Luftschleuse

Zum Fördern sind zweckmäßig Förderhosen (Bild 164), Rohre, aus denen der Boden nach außen unmittelbar in Kähne, Kippwagen, Baustoffe, wie Beton, nach innen in das Schachtrohr und den Arbeitsraum stürzen.

Druckluft.<sup>1)</sup> Die Druckluftpumpen werden, wenn irgend möglich, auch bei Gründungen im offenen Wasser, an Land aufgestellt und die Leitungen auf Arbeitsgerüsten zum Senkkasten geführt. Falls dies nicht möglich, können die Pumpen auch auf einem Schiff stromab im Schutze

des Bauwerks eingebaut werden, was jedoch in Rücksicht auf die Gefährdung der Anlage nur geschehen soll, falls es sich nicht vermeiden läßt.

Damit die Zufuhr von Druckluft jederzeit sichergestellt ist, sind — zumindest bei einem Überdruck von mehr als  $1,3 \text{ kg/cm}^2$  — 2 voneinander unabhängige Maschinensätze aufzustellen, damit bei etwaigem Versagen eines Satzes der andere sofort in Betrieb genommen werden kann.

Die Druckluft wird durch Wasser, das den Pumpenzylinder in Spiralen umfließt, abgekühlt und durch Luftfilter und Ölabscheider gereinigt.

Der Arbeitskammer wird die Luft durch zwei getrennte Luftleitungen aus stählernen, durch Gummiringe abgedichteten Flanschenrohren zugeführt, in die ein mindestens 1 m Senkung zulassender Gummischlauch eingeschaltet ist. In jede Leitung müssen ein Windkessel zum Ausgleich der Druckschwankungen, ein Sicherheitsventil nahe der Pumpe, ein Rückschlagventil an der Mün-

1) „Verordnung für Arbeiten in Druckluft“ v. 29. Mai 1935 des Reichsarbeitsministers (Reichsgesetzblatt 1935, Teil I, Nr. 58, S. 725).

ung in die Arbeitskammer und je ein Druckmesser im Maschinenraum, in der Schleuse und in der Arbeitskammer, in dieser auch noch eine Vorrichtung zum Abblasen eingebaut sein.

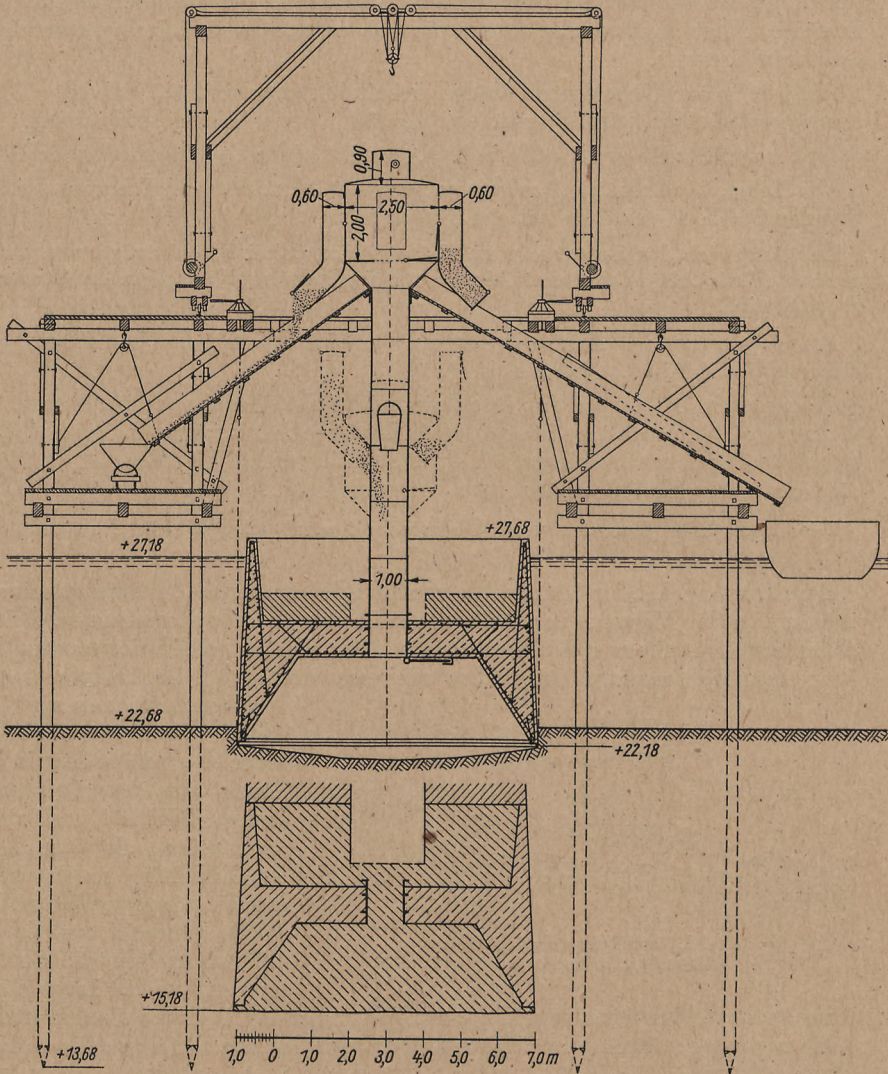


Bild 164. Absenken eines Druckluftsenkkastens vom Gerüst aus

Für jeden Arbeiter sind stündlich mindestens  $30 \text{ m}^3$  Frischluft in den Arbeitsraum einzuführen. Die Luft muß frisch und rein sein und im Arbeitsraum eine Wärme von  $10^\circ \dots 25^\circ \text{ C}$  haben. Es ist nur elektrisches Glühlicht zulässig und das Rauchen verboten.

In Druckluft dürfen nur von dem Überwachungsarzt untersuchte und dauernd überwachte, gesunde Arbeiter von 20... 50 Jahren beschäftigt werden. Jedem ist das „Merkblatt für Druckluftarbeiter“<sup>(1)</sup> einzuhändigen, das ihm Anweisung zum Verhalten in den Drucklufträumen, zur geeignetsten Kleidung, Ernährung usw. gibt und ihn auf die aus einer Nichtbefolgung entstehenden Gefahren hinweist.

Als höchster Überdruck in der Arbeitskammer sind  $3,5 \text{ kg/cm}^2 = 3,5 \text{ atü}$ , entsprechend einer Gründungstiefe von  $\approx 35 \text{ m}$  unter Wasser, zugelassen.

Arbeitszeit: 8... 4 Stunden je Tag, mit Zunahme des Überdrucks fallend.

Das Einschleusen muß so langsam erfolgen, daß niemand Beschwerden spürt, was der Schleusenwärter nachzufragen hat.

Der Ausgleich des Luftdrucks im Körper wird dabei beschleunigt, wenn tiefeingeatmete Luft bei geschlossenem Munde und zugehaltener Nase gegen das Trommelfell gepreßt wird.

Ausschleusen: 1 Minute/ $0,1 \text{ kg/cm}^2$  bis  $1,3 \text{ kg/cm}^2$ , darüber immer länger dauernd bis 70 Minuten bei  $3 \text{ kg/cm}^2$ .

Zeigen sich bei einem Ausgeschleusten heftige Gliederschmerzen, Lähmungen, Ohnmacht, so ist er sofort in die Druckluft zurückzubringen und dann ganz allmählich auszuschleusen. Hierfür muß bei einem Überdruck  $> 1,3 \text{ kg/cm}^2$  eine besondere Krankenkammer vorhanden sein.

Die erste Hilfe hat der vom Überwachungsarzt ausgebildete Betriebshelfer zu leisten.

Absenkung. Ist der Senkkasten am Lande abzusenken, so erfolgt seine Herstellung an der Verwendungsstelle oberhalb des Grundwasserstandes. Bei einer Absenkung im offenen Wasser wird der Senkkasten an der Verwendungsstelle über dem Wasserspiegel auf festen oder schwimmenden Gerüsten erbaut und

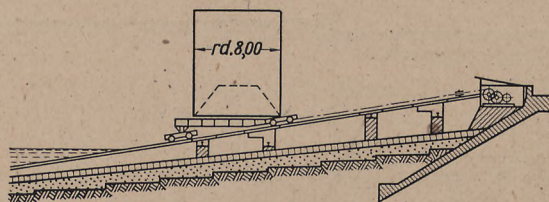


Bild 165. Herstellung eines Senkkastens auf schräger Ablaufbahn am Ufer

hierauf an Spindeln zur Wasser-  
sohle abgelassen (Bild 164),  
oder er wird am Ufer in einem  
Dock oder auf einer Ablauf-  
bahn (Bild 165 und vgl. Ab-  
lauf eines Schwimmkastens  
in Bild 171) hergestellt und  
schwimmend zur Verwendungs-  
stelle gebracht, wo er durch  
Belastung auf die Sohle ab-  
gesenkt wird. Liegt die Ab-

senkungsstelle im flachen Wasser, kann der Aufbau des Senkkastens auf einer zuvor geschütteten Insel unmittelbar über der Absenkungsstelle erfolgen.

Bei der Absenkung vom Gerüst mit Schraubspindeln (Bild 164) sind diese ganz gleichmäßig nachzulassen. Damit hierbei das Gewicht des Senkkastens möglichst gering ist, werden die Seitenwände über die Decke hinaus so hochgezogen, daß die Aufmauerung des aufgehenden Bauwerks erst beginnen muß, wenn der Senkkasten bereits von den Spindeln abgelöst ist und auf der Sohle aufsitzt.

1) Anlage C zur „Verordnung für Arbeiten in Druckluft“ (S. 106).

Bei dem Einschwimmen eines Senkkastens müssen die Seiten so hoch gezogen werden, daß eine sichere Schwimmlage gewährleistet ist (Bild 166). Das Absenken des schwimmenden Kastens kann — ohne Aufhängung an Spindeln — durch Einbringen von Belastung erfolgen, was selbstverständlich sehr gleichmäßig geschehen muß, damit der Senkkasten nicht von der vorgesehenen Stelle abweicht oder sogar kantet.

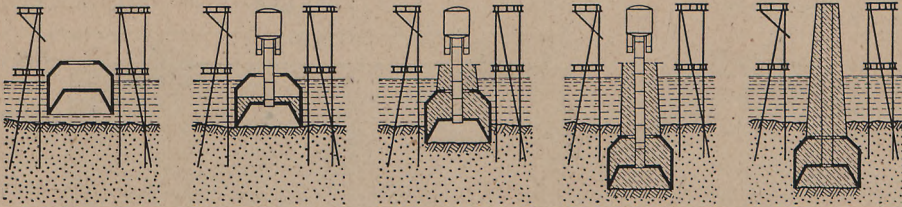


Bild 166. Senkkastengründung eines Brückenpfeilers im offenen Wasser, Senkkasten eingeschwommen

Der Grundriß der Senkkästen soll möglichst symmetrisch sein, um ein gleichmäßiges Absenken zu gewährleisten. Bei senkrechter Absenkung sind die Seitenwände lotrecht anzuordnen, oder sie erhalten eine leichte konische Neigung. Bei Bauwerken, die größere waagerechte Kräfte aufnehmen müssen, ist es zwecks Materialersparnis erwünscht, den Senkkasten nicht senkrecht, sondern in der Schrägrichtung der Mittelkraft abzusenken (vgl. Unterschneidung einer Stützmauer). Eine derartige Schrägabsenkung läßt sich nach dem erprobten Verfahren Beuchelt durch Schräganordnung zweier gegenüberliegender Wände des Senkkastens (Bild 167) erreichen.

Ist der Erddruck auf zwei gegenüberliegende Seiten des Senkkastens verschieden groß, wie z. B. häufig bei Absenkungen am Ufer eines Flusses, so weicht der Kasten leicht nach der Flußseite hin aus, da dort der geringere Erddruck ist. Dies läßt sich durch entsprechende Formgebung des Senkkastens, Anbringung von Leitwerken u. a. verhindern.<sup>1)</sup>

Sollte sich der Senkkasten schiefstellen, so verringert man an der höheren Seite die durch die keilförmige Wand gebildete schräge Stützfläche gegenüber der anderen Seite, damit sich der Senkkasten wieder geraderichtet (Bild 168). Wird die Reibung so groß, daß keine Senkung mehr eintritt, so muß die Schneide des Senkkastens ringsum vollständig freigelegt und nach Abschluß des Senkkastens durch plötzliches Ablassen der Luft der Auftrieb beseitigt werden, um ein weiteres Sinken zu veranlassen.

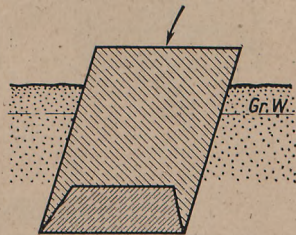


Bild 167. Schrägabsenkung eines Senkkastens (nach Beuchelt)

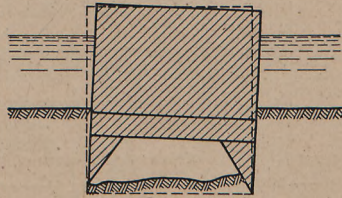


Bild 168. Geraderichten eines schiefstehenden Senkkastens

**Bodenförderung.** Der Boden wird durch Menschen- oder Maschinenkraft, am besten durch einen im Innern über dem Schachtröhre aufgestellten Elektromotor gehoben und in die Förderhose (Bild 164) geschüttet.

1) S. auch Bautechnik 1940, Heft 3, „Das Beeinflussen der Absenkrichtung von Druckluftsenkkästen“, Dr.-Ing. Paproth.



Die Taucherglocken sind entweder an einem schwimmenden Gerüst aufgehängt (Bild 170) oder selbstschwimmend.

Letztere eignen sich in der Hauptsache nur für das Gebiet der Gezeiten, weil unter ihnen das Bauwerk bis allerhöchstens 1,10 m unter Wasser, der Tauchtiefe der zum Abflößen entlasteten Glocke, hochgeführt, der oberste Teil also ohne wasserdichte Umschließung nur im Tidebetrieb ausgeführt werden kann.

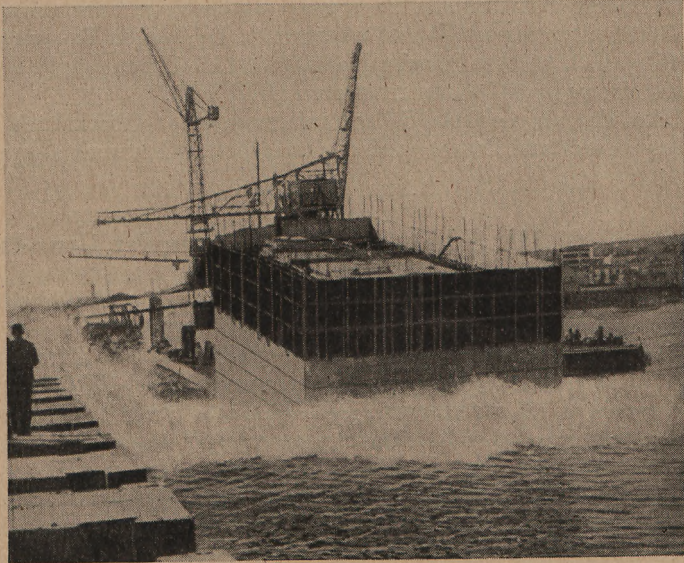


Bild 171.  
Ablauf eines Schwimmkastens

### e) Gründung auf Schwimmkästen

Ist die Herstellung einer Spundwandumschließung oder eines Fangedammes wegen ungeeigneten Untergrundes oder zu großer Wassertiefe nicht möglich, so kann das Bauwerk mit Hilfe von Schwimmkästen gegründet werden. Ein wasserdichter, oben offener Kasten aus Stahl oder heute meistens aus Stahlbeton wird an Land hergestellt und schwimmend zur Verwendungsstelle gebracht. Der Ablauf des Kastens in das Wasser erfolgt auf einer Gleitbahn ähnlich dem Stapellauf eines Schiffes (Bild 171). Über der Verwendungsstelle wird der Schwimmkasten durch Füllung mit Sand (Bild 172) oder Beton (Bild 112) abgesenkt, wobei Leitpfähle oder Anker dazu dienen, daß das Aufsitzen an der richtigen Stelle erfolgt. Die Bausohle, auf der der Schwimmkasten aufsitzt, muß vollständig eben sein, was durch Baggern oder Einbringen einer Kies- oder Sand-schüttung erreicht wird.

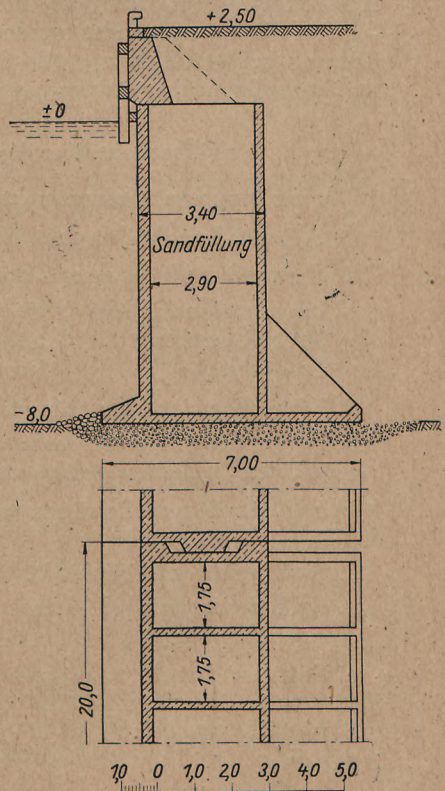


Bild 172. Kaimauer auf Stahlbetonschwimmkasten



Größere Schwimmkästen werden durch volle oder rahmenartige Quer- und Längsbauten unterteilt und ausgesteift. Bei langen Bauwerken wie Ufermauern, Molen u. ä. werden Schwimmkästen von 15 ... 20 m Länge aneinandergereiht, die mit Verzahnung ineinandergreifen (Bild 172).

Auf den abgesenkten Schwimmkästen, deren Oberkanten möglichst über dem Bauwasserstand liegen, wird das aufgehende Bauwerk ausgeführt.

### III. Schutz und Abdichtung der Grundbauten

In Schadwasser und Schadstoffe enthaltendem Boden sind die Grundbauten vor Zerstörungen zu schützen. Dies muß entweder durch geeignete Zusammensetzung des Betons bzw. des Putzes geschehen oder durch Abdichtungen. Letztere haben den Zweck, das Eindringen von schädlichen Stoffen in das Bauwerksinnere zu verhindern. In Mauerwerk eingedrungenes Wasser wirkt vor allem bei Frost durch seine Sprengwirkung ungünstig. Säure- und salzhaltiges Wasser zerstören durch chemische Umsetzungen den Beton, Putz oder Mörtel. Hohlbauten (Keller) müssen gegen das Eindringen von Feuchtigkeit und Wasser geschützt werden. Lebensdauer und Unterhaltungskosten eines Bauwerks hängen wesentlich von der Güte und Dauerhaftigkeit seines Schutzes und seiner Abdichtung ab. Nur die besten Schutz- und Dichtungsmittel und -arten dürfen verwendet werden. Falsche Sparsamkeit und mangelhafte Ausführung bringen später große Schwierigkeiten und verursachen unverhältnismäßig große Ausbesserungs- und Wiederherstellungskosten.

#### a) Übersicht über die Schutz- und Abdichtungsverfahren

##### 1. Verwendung von Sonderzementen oder Zusätzen zum Portlandzement

a) Schutz durch Auswahl der Zemente (fertig zu beziehen):

1. Verwendung kalkarmer Zemente:

Eisenportlandzement	} (Verringerung des Kalküberschusses, der durch Säuren, Basen und Salze angegriffen wird, gegenüber dem Portlandzement).
Hochofenzement	
Traßzemente	

2. Verwendung von Erzzement (tonerdearm, für Bauten in Salzwasser).

3. Verwendung von Schmelzzement (aus Bauxit im Hochofen geschmolzen, kalkarm, widerstandsfähig gegen Sulfate, weniger gegen Alkalilösungen).

b) Schutz durch Zusätze von Puzzolanen zum Portlandzement (auf der Baustelle zu mischen):

1. Traß (wirkt kalkbindend).

2. Hochofenschlacke (Thurament). (Wirkung des Zusatzes entspricht etwa dem Hochofenzement.)

c) Schutz durch wasserabweisende Zusätze zum Portlandzement (fertig zu beziehen):

1. Bitumen (Emulsion)	} (wirken porenfüllend)
2. Seife	

## 2. Mischung und Verarbeitung des Betons

Dichter Beton durch

1. richtiges Korngrößenverhältnis der Zuschlagstoffe nach der Siebkurve (DIN 1045),
2. genügend hohen Zementzusatz (mindestens 300 kg/m<sup>3</sup> fertiger Beton),
3. Verwendung nur feinstgemahlener Zemente,
4. richtige Verarbeitung des Betons auf der Baustelle (plastischer Beton, keine Arbeitsfugen, gute Stampfarbeit, Einrütteln).

## 3. Zusatz von Dichtungsmitteln und wasserabweisenden Stoffen zum Beton

Zusatz von

a) Dichtungsmitteln:

1. Schmierseifen
  2. Wasserglasseifen
  3. Kalk- oder Aluminiumseifen (porenverstopfend und schwach wasserabweisend).
  4. Kolloidalen Eiweißlösungen (Bildung von Kalkeiweiß, das die Porenwände dichtet).
- } (Bildung von Kalkseifen, die porenverstopfend wirken).

b) wasserabweisenden Stoffen:

Bitumen.

## 4. Schutzschichtbildung

a) durch Verwendung von Chemikalien:

Anstriche mit

1. Silicofluoriden (Bildung von unlöslichen Salzen durch Umwandlung des freien Kalks im Beton in eine wasserunlösliche Kalkverbindung).
2. Wasserglas (wie bei 1 und Bildung von gallertartiger Kieselsäure, welche die Poren verstopft).

b) durch filmbildende Dichtungsaufstriche:

1. Kalt- und Heißaufstriche aus Teerpech, Bitumen, Bitumenpech, Braunkohlenteerpech.
2. Kaltaufstriche aus Emulsionen.

## 5. Ummantelung des Bauwerks

1. durch Umstampfen mit Lehm und Ton,
2. durch widerstandsfähigen Putz und Vorsatzbeton,
3. durch Klinkerverblendung,
4. durch Dichtungsbahnen aus Wollfilzpappe oder Jutegewebe,
5. durch Dichtungsbahnen mit Metallfolien,
6. durch Spachtelmassen,
7. durch Gußasphalt.

Eine allgemein gültige Regel, welche bei den zahlreichen Schutz- und Abdichtungsmöglichkeiten angewandt werden kann oder muß, gibt es nicht. Die Wirkung von betonschädlichen Bestandteilen ist außerordentlich ver-

schieden: Ein Wasser mit geringen Schadstoffen z. B. kann gefährlicher sein als Wasser mit mehr Schadstoffen, wenn ersteres strömt, letzteres dagegen steht. Ein an sich dichter Beton ist widerstandsfähiger als ein Beton mit schlechter Kornzusammensetzung, wird also selbst bei stärkeren Schadstoffen nur ein leichteres Schutzmittel verlangen als letzterer bei etwaigen schwächeren Schadstoffen.

Handelt es sich nur um den Schutz des Bauwerks vor Wasser (nicht Schadwasser), sind im Grundbau im wesentlichen folgende Ausführungen üblich:

zum Schutz gegen Erdfeuchtigkeit und Sickerwasser Schutzanstriche gemäß 4, b,

zur Abdichtung von Hohlräumen gegen stärkeren Wasserandrang Ummantelung des Bauwerks mit Dichtungsbahnen aus Wollfilzpappe, Jutegewebe oder mit Metallfolie, mit Spachtelmassen oder Gußasphalt.

Zur Abdichtung gegen Baugrund und Wasser mit stärkeren Schadstoffen ist eine derartige Ummantelung gleichfalls das sicherste Verfahren.

Die nähere Behandlung der Schutz- und Dichtungsmöglichkeiten, die in der Übersicht unter 1 bis 3 aufgeführt sind, gehört im wesentlichen in das Gebiet der Baustoffkunde und des Betons, weswegen hier nur auf das einschlägige Schrifttum (s. Verzeichnis S. 138) verwiesen wird.

## **b) Abdichten des Betons durch Schutzschichtbildung**

### **1. Fluat- und Silikate**

Durch das Aufstreichen oder Aufspritzen von Fluaten und Silikaten verbindet sich die Fluß- oder Kieselsäure der Dichtungsmittel zum Teil mit dem freien Kalk des Betons oder Mörtels und bildet das unlösliche Kalziumfluorid oder Kalziumsilikat. Bei Verwendung von Wasserglas bildet sich zusätzlich noch gallertartige Kieselsäure, die die Poren verstopft. Es entsteht jedoch nur eine dünne Schutzschicht, die keinen ausreichenden Schutz gegen fließendes Wasser oder stärkeren Wasserdruck bietet, weswegen derartige Anstriche nur zusätzlich bei der Herstellung dichten Betons angewandt werden können.

Die Ausführung des Aufstrichs oder des Anspritzens darf erst erfolgen, wenn der Beton oder Mörtel bei neuen Bauwerken mindestens 28 Tage alt ist, die Oberfläche ausgetrocknet und gut gereinigt ist. Die Mittel sind farblos. Vorsicht bei Verarbeitung, da sie ätzend und giftig sind.

### **2. Filmbildende Schutzanstriche (Kalt- und Heißanstriche)**

Die wichtigsten Grundstoffe zu den filmbildenden Dichtungsaufstrichen sind Bitumen und, besonderes zubereiteter Teer. Bei den kalten Dichtungsaufstrichen sind zu unterscheiden Mittel, die auf Lösungsgrundlage beruhen, und Emulsionen. Bei den ersteren erfolgt die Verflüssigung durch Benzin, Sprit u. a. Durch Verdunstung des Lösungsmittels nach dem Anstrich bleibt ein Film aus Bitumen oder Teer zurück, der die Abdichtung übernimmt. Bei den Emulsionen (nur Bitumen-Emulsionen, Kaltasphalt) ist das Bitumen in feinsten Teilchen im Wasser mechanisch verteilt. Dem Wasser ist ein Emulgator zugesetzt, um ein Gerinnen der Emulsionen zu verhindern. Nach dem Anstrich verdunstet das Wasser (die Emulsion „bricht“) und das verbleibende Bitumen bildet den abdichtenden Film.

Heißflüssige Aufstrichmittel bestehen aus Bitumen. Diesem kann in feinsten Verteilung Steinmehl, das säureunangreifbar und nicht quellbar sein muß, bis zu 20% zugesetzt sein.

Die Zahl der im Handel befindlichen Mittel für Dichtungsaufstriche ist sehr groß. Ihre Widerstandsfähigkeit gegen Säuren, Laugen und Salzlösungen sowie gegen Kälte und Wärme ist sehr verschieden, so daß sie nicht ohne Prüfung verwendet werden sollen.

Für die Aufbringung des Aufstrichs ist folgendes zu beachten: Die zu streichende Fläche muß sauber sein. Auch muß sie — außer bei Verwendung von Emulsionen und spritzgelösten Aufstrichmitteln — trocken sein. Bei kalten Aufstrichen muß vorher auf die Fläche ein Glattputz aufgebracht werden. Emulsionsaufstriche müssen bei und kurz nach dem Aufbringen vor Regen geschützt werden.

Alle anderen Kaltaufstriche entwickeln beim Trocknen durch Verdunstung des Lösungsmittels explosive Dampf-Luft-Gemische, die besonders in geschlossenen Räumen gefährlich werden können. Die Wichte aller dieser Dämpfe ist schwerer als Luft. Sie müssen daher aus geschlossenen Räumen abgesaugt werden.

Der Dichtungsaufstrich besteht aus drei Anstrichen: dem Voranstrich und zwei Deckaufstrichen. Damit der Voranstrich möglichst gut in den Beton einzieht und dadurch gut haftet, ist ein möglichst dünnflüssiges (kaltes) Aufstrichmittel zu verwenden. Für die beiden Deckaufstriche können kalte oder heiße Aufstrichmittel verwandt werden. (Auf Emulsionsvoranstriche dürfen nur Emulsions- oder sonstige kalte Dichtungsaufstriche aufgebracht werden.) Bei Unterbrechungen sind die Ränder der vorher gestrichenen Flächen um mehrere Zentimeter nochmals zu überstreichen. Ein äußeres Zeichen für die Güte eines einwandfreien Dichtungsaufstriches ist sein glänzendes, tiefschwarzes Aussehen, das auch nicht an einzelnen Stellen durch rauhe schwarze oder dunkelgraue Stellen unterbrochen sein darf.

### c) Ummantelung des Bauwerks

#### 1. Ummanteln mit Lehm oder Ton

Die Umstampfung des Bauwerks mit Lehm oder Ton erschwert zwar den Zutritt des Wassers, bietet jedoch nicht eine volle Gewähr für unbedingte Abdichtung. Sie kann daher nur als zusätzliches Schutzmittel gelten im Verein mit anderen Verfahren.

#### 2. Widerstandsfähiger Putz und Vorsatzbeton

Handelt es sich nur um die Abdichtung des Bauwerks gegen Feuchtigkeit ohne schädliche Beimengungen, kann ein Zementputz unter Umständen widerstandsfähig sein. Voraussetzung ist folgendes: Aufbringen des Putzes auf den frisch ausgeschalteten Beton; Mischungsverhältnis nicht fetter als 1 : 2, bei fein gemahlenem Zement nicht fetter als 1 : 3, damit keine Schwindrisse entstehen; richtige Kornzusammensetzung und Wasserzusatz<sup>1)</sup>; zweilagige Ausführung, und zwar ein fetter Unterputz, darauf eine etwas fettere Feinschicht als Oberputz; Oberfläche wird abgerieben, aber nicht geglättet.

1) S. AMB., § 41, 3 und 43.

Ein mit Druckluft aufgespritzter Putz wird erheblich dichter und haftet besser an der Oberfläche des Betons.

Besteht die Gefahr, daß der Putz durch betonschädliche Bestandteile angegriffen wird, sind bei der Herstellung des Putzes die in der Übersicht unter 1 bis 3 angegebenen Mittel anzuwenden.

Da ein Putz nicht elastisch ist, wird er bei Bewegungen des Bauwerks und etwa eintretender Ribbildung auch selbst reißen, so daß dem Wasser der Zutritt zu dem Bauwerk geöffnet wird.

Vorsatzbeton, der mindestens 5 cm dick sein muß, wird gleichzeitig mit dem andern Beton des Bauwerks hergestellt. Für ihn gelten sinngemäß die für den Putz gemachten Ausführungen.

### 3. Klinkerverblendung

Die Ummantelung des Bauwerks mit Klinkern bietet einen guten Schutz im Wasser, auch bei Schadwasser. Voraussetzung ist jedoch, daß der Mörtel, mit dem die Verkleidung hergestellt ist, dicht und bei Schadwasser widerstandsfähig ist. Für den Mörtel gilt das im vorigen Abschnitt über die Herstellung des Putzes Gesagte. An Stelle von Zementmörtel findet bei Schadwasser zweckmäßig Bitumenmörtel (Gemisch von mindestens 12% Asphaltbitumen mit säurefesten, nicht quellbaren Sanden und Steinmehlen) Verwendung. Dieser hat eine größere Widerstandskraft gegen betonschädliche Bestandteile.

Besteht die Gefahr der Ribbildung, bietet die Klinkerverkleidung keinen unbedingten Schutz, da sie nicht elastisch ist, selbst auch reißen kann und damit die Schutzwirkung zerstört werden kann.

### 4. Dichtungsbahnen

Eine in Sohle und Wände nahe der Außenfläche eingespannte Dichtungshaut ist der zuverlässigste Schutz gegen das Eindringen des Grundwassers in Hohlräume (Keller) bis zu größtem Wasserdruck und zugleich die wirkungsvollste Sicherung der von ihr umschlossenen Bauteile gegen Schadwasser.

Sie besteht aus mehreren miteinander verklebten Lagen nackter Asphaltbitumenpappe. Die Abdichtung liegt der Klebmasse ob, während die Pappe durch ihre Nachgiebigkeit etwa entstehende Risse des Mauerwerks oder Betons zu überbrücken und die Anstriche mitzunehmen, sie zur risselosen Dehnung zu zwingen hat.

Als Pappe zur wasserdruckhaltenden Dichtung<sup>1)</sup> wird 625er Wollfilzpappe (mit weißer Banderole: 0,625 kg/m<sup>2</sup> aus Baumwoll-, Jutefasern und Tierhaaren verwendet, die mit heißem Erdöl- oder Naturasphalt oder deren Gemisch von 0,75 kg/m<sup>2</sup> getränkt<sup>2)</sup> und mit Quarzsand oder Specksteinmehl bestreut ist, damit sie, in 1 m Breite auf 10...20 m Länge zusammengerollt, nicht zusammenklebt.

Jutegewebe, in gleicher Weise hergerichtet, ist geschmeidiger und läßt sich Ecken, Kanten besser anschmiegen als Pappe, gilt aber nicht als ebenso widerstandsfähig.

Zum Verkleben der Papp- oder Jutebahnen dient eine Klebmasse (Aufstriche) aus Erdöl-asphalt oder aus einem Gemisch von Erdöl- und Naturasphalt von mindestens 1,5 kg/m<sup>2</sup> für jeden Aufstrich.<sup>1)</sup>

Die Pappbahnen werden nach gründlichem Abfegen der Streumittel stets winkelrecht zur Längsachse des Baues, bei Sohlengefälle von unten angefangen,

1) DIN 4031.      2) DIN DVM 2129.

so ausgerollt, daß sich die Stöße jeder Lage 10 cm und die zweier Lagen um die halbe Rollenbreite, Querstöße, zueinander versetzt, 10 cm überdecken.

Ausführung nach DIN 4031: Die erste Papplage wird auf ihre Unterlage nach einem heißflüssigen Aufstrich aufgeklebt und gut angedrückt, auch jeder Stoß verklebt, dann mit einem satten Deckaufstrich versehen, auf den sofort die zweite Lage aufgedrückt und danach wieder mit einem Aufstrich gedeckt wird. Die Deckaufstriche werden bei hohem Wasserdruck wiederholt. Wenn die Lagen von außen an einer Wand anzubringen sind, die erste also dem Wasser nicht zugekehrt ist, so wird diese besser nur an einzelnen Stellen mit Klebmasse angeheftet. Doch muß die letzte Lage in jedem, also auch im umgekehrten Falle einen Aufstrich erhalten.

Die Dichtungshaut muß von 30 cm über dem höchsten Wasserstand bis 3,5 m Tiefe dreilagig mit mindestens 3, in größeren Tiefen vierlagig mit  $\geq 4$  Aufstrichen sein (Bild 178), wozu noch der letzte Deckaufstrich kommt, wenn wie gewöhnlich die Haut von innen angebracht wird.

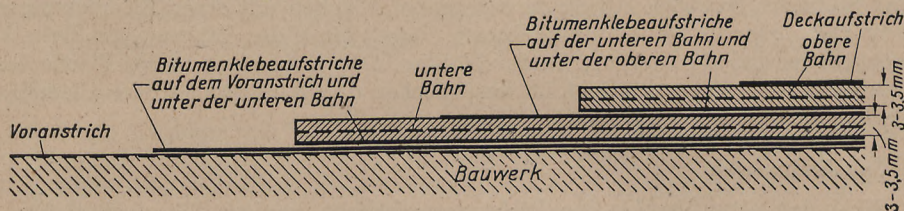


Bild 173. Dichtungshaut aus zwei Dichtungsbahnen (nach AIB.)

Nach der AIB. der Reichsbahn<sup>1)</sup> wird eine Dichtung aus Dichtungsbahnen folgendermaßen hergestellt: Das Bauwerk erhält einen Voranstrich, auf den nach Trocknen ein Bitumenklebeaufstrich aufgebracht wird (Bild 173). Die Unterseite der ersten Dichtungsbahn wird mit der gleichen Klebmasse vorgestrichen und hierauf kräftig auf das Bauwerk aufgedrückt, so daß also zwei Klebeaufstriche aufeinander kommen. Hierauf erhält die Oberseite der ersten Dichtungsbahn einen Klebeaufstrich und gleichfalls die Unterseite der nächsten Dichtungsbahn. Ebenso erfolgt das Aufkleben weiterer Bahnen. Auf die Oberseite der letzten Bahn wird ein Deckaufstrich aufgebracht.

Zum Aufkleben der Dichtungshaut muß die Unterlage eben und völlig trocken sein, sie wird aus Beton oder glatt verputztem Mauerwerk von mindestens 10...15 cm Stärke hergestellt. Unbedingt muß aber noch die Dichtungshaut durch Anstampfen von Beton fest eingespannt werden, damit sie sicher in ihrer Lage erhalten, jegliches Fließen des Asphalts verhütet und die Pappe vor dem Eindringen von Wasser und Luft und damit vor allmählicher Verrottung geschützt wird.

Nach Sichardt ist eine sorgfältig hergestellte und fest eingespannte Dichtungshaut Dehnungen infolge Beton- oder Mauerrissen bis 15, 20 mm gewachsen, darf aber einem Druck über 5 kg/cm<sup>2</sup> nicht ausgesetzt werden.

Bei höherem Druck finden Verwendung die erheblich teureren, aber nicht so zugsicheren, 5 oder 10 m langen Bahnen aus doppelter, asphaltbitumengetränkter

1) Vorläufige Anweisung für Abdichtung von Ingenieurbauten (AIB.), Deutsche Reichsbahn.

333er Wollfilzpappe mit zwischengeklebter Bleifolie von  $3 \text{ kg/m}^2$ , deren Blei- und Papplagen, an den Rändern auf 10 cm unverklebt, am Stoß ineinander geschoben und wechselseitig übereinandergeschiebt werden.

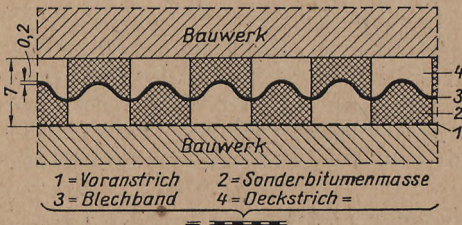


Bild 174. Querschnitt durch eine Blechbanddichtung mit geriffeltem Alcuta-Blechband

Ohne jede Verwendung von Wollfilzpappe oder Jutegewebe sind die Dichtungen aus Aluminiumbändern (Alcuta-Blechband) aufgebaut. Bild 174 zeigt den Querschnitt einer derartigen Dichtung.<sup>1)</sup> 1 bedeutet einen bituminösen Grundanstrich der Unterlage, 2 ist ein geschlossener Bitumenfilm und dient zur Befestigung der Blechbahn 3, die vor dem Verlegen der Schutzschicht mit einem Bitumenanstrich 4 versehen wird. Die Blechbahnen werden an Ort und Stelle am Bauwerk auf die zu dichtenden Flächen mit einer Bitumenmasse aufgeklebt oder in Bitumen eingebettet. Dabei dient das Bitumen als Befestigungsmittel und zur Dichtung in den Nähten. Die Dichtung in der Fläche des Bauwerks übernimmt jedoch im wesentlichen das Blechband, vor allem bei Vorhandensein von druckhaftem Wasser.

### 5. Spachtelmassen

Wird den Grundstoffen der Dichtungsaufstriche weniger Lösungsmittel zugesetzt, so sind sie so zäh, daß man sie nicht aufstreichen kann, sondern aufspachteln muß. Die Schutzschicht wird dann erheblich dicker und daher auch widerstandsfähiger.

Für aufgespachtelte Abdichtungen kommt insbesondere die Verwendung von deutschem Naturasphalt in Frage.<sup>2)</sup> Das Grundsätzliche für diese Abdichtungen ist folgendes: Auf die zu schützende Fläche kommt eine weiche und

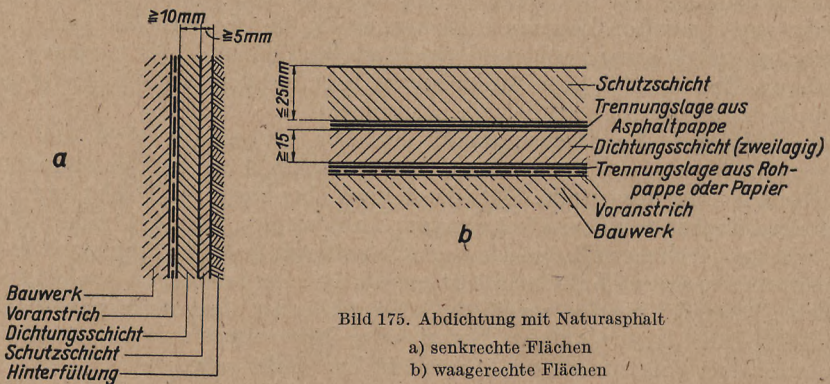


Bild 175. Abdichtung mit Naturasphalt

- a) senkrechte Flächen  
b) waagerechte Flächen

1) Bautechnik, Heft 26/27/1941, Die Abdichtung von Ingenieurbauwerken unter Verwendung dünner Blechbänder, Dr.-Ing. Haefner.

2) S. Erlaß des Reichsverkehrsministers vom 20. Juli 1937.

bitumenreiche Asphaltmasse als Dichtungsschicht, darauf eine harte und widerstandsfähige Asphaltmasse als Schutzschicht (Bild 175 a und b). Die Dichtungsschicht soll bei senkrechten Flächen  $\geq 10$  mm, bei waagerechten  $\geq 15$  mm sein. Bei senkrechten Flächen genügt als Stärke der Schutzschicht etwa 5 mm, bei waagerechten Flächen, insbesondere unter Verkehrslasten, muß sie jedoch bis zu 25 mm stark sein. Voranstriche aus dünnflüssigen Aufstrichmitteln sind bei Abdichtungen senkrechter Flächen erforderlich, bei waagerechten können sie fehlen. Besteht Rissegefahr, ist die gesamte Abdichtung der waagerechten Fläche durch eine Lage Rohpappe oder Papier von dem Bauwerk zu trennen (Bild 175 b). Um ein Ankleben dieser Zwischenlage zu verhüten, ist im Bodensenkungsgebiet der Voranstrich fortzulassen. Eine derartige Trennung kann auch zwischen Dichtungs- und Schutzschicht erwünscht sein und erfolgt dann durch eine Lage Asphaltpapier.

Das Material für die Dichtungsschicht hat einen Gesamtbitumengehalt von etwa 22 Gewichtsprozent, das für die Schutzschicht wird durch Beimengung von Sand und Hartsteinsplitt auf etwa 15 Gewichtsprozent abgemagert.

Vorschriften für Ausführungen bei der Reichsbahn s. AIB, 2. Nachtrag.

## 6. Gußasphalt

Eine im Hochbau häufig ausgeführte Dichtung der Grundbauten ist die aus Gußasphalt. Waagerechte Sperrschichten werden in etwa 10 mm Dicke ausgeführt. Für ihre Herstellung verwendet man ein Asphaltgemenge, das etwa 80% Naturasphaltnastix und 20% Grobsand enthält. Als Träger senkrechter Sperrschichten dienen starke engmaschige Rabitzdrahtgewebe oder Streckmetall, das an der zu dichtenden Wand befestigt wird (bei Beton an eingesetzten Holzdübeln, bei Mauerwerk mit Nägeln). Die Wand einschl. des Dichtungsträgers erhält einen kalten Bitumenvoranstrich, auf den nach Trocknen eine 10...15 mm starke Gußasphaltschicht aufgetragen wird. Hierauf kommt eine gleichstarke Oberschicht, die aber mit etwa 20% Grobsand abgemagert und gehärtet ist (Bild 176).

### d) Bauliche Ausführung der Abdichtungen

Jedes Bauwerk ist vor den schädlichen Einwirkungen des Wassers zu schützen, und zwar nicht nur durch Schutz- und Dichtungsmittel, sondern vor allem auch dadurch, daß das Wasser auf dem kürzesten Wege abgeleitet wird. Es sind daher waagerechte Flächen, von denen das Wasser nicht abfließen kann, sowie Wassersäcke zu vermeiden. Auch Bau-, Dehnungs- und Bewegungsfugen müssen gut gedichtet sein.

#### I. Dichtungsaufstriche

Um das Wasser von Flächen, die mit einem Dichtungsaufstrich versehen sind, schnell abzuleiten, werden sie mit einer Hinterpackung von  $\geq 40$  cm Stärke aus harten, wetterbeständigen, großen Steinen versehen (Bild 113), die vorsichtig mit Hand zu versetzen sind, damit der Dichtungsaufstrich nicht beschädigt wird.

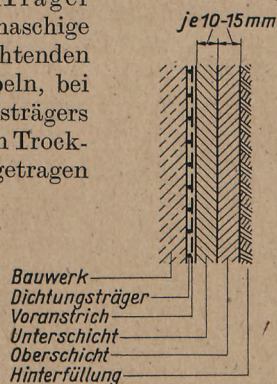


Bild 176.  
Senkrechte Sperrschicht  
aus Gußasphalt



Bei lehmiger Hinterfüllung ist hinter der Steinpackung noch ein 30 cm starker Filter aus Grobkies einzubauen, der ein Verschlammen der Steinpackung verhüten soll. Das durch die Hinterpackung hinabsickernde Wasser wird durch eine Rinne (Bild 113) oder ein Halbrohr aufgefangen und abgeleitet.

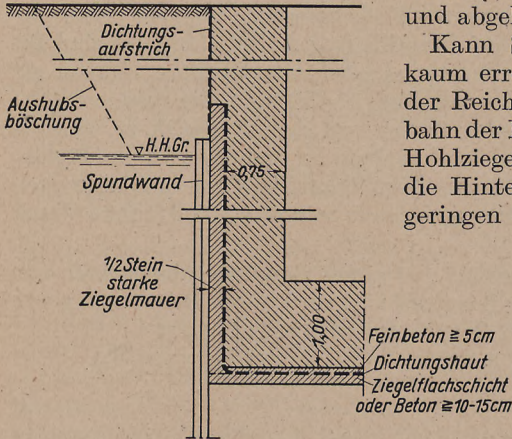


Bild 177. Abdichtung eines Bauwerkes in Spundwandbaugrube

Kann Sickerwasser den Dichtungsanstrich kaum erreichen, wie es z. B. bei den Brücken der Reichsautobahnen infolge der Betonfahrbahn der Fall ist, genügt eine Flachsicht aus Hohlziegeln als Schutz des Aufstrichs gegen die Hinterfüllung des Bauwerks. Die äußerst geringen Mengen Sickerwasser werden dann durch die von oben nach unten laufenden Hohlräume der Ziegel abgeführt.

## 2. Dichtungsbahnen

Ein Bauwerk, das durch Dichtungsbahnen vor Grundwasser oder betonschädlichen Bestandteilen geschützt werden soll, wird trogartig mit Dichtungsbahnen umhüllt, die mindestens 30 cm über

den höchsten Grundwasserstand hochgeführt werden müssen. Liegt das ganze Bauwerk im Grundwasser, ist es auch von oben zu dichten (Bild 178).

Für das Aufbringen der Dichtungsbahnen der Sohle ist eine Unterlage erforderlich. Diese besteht gewöhnlich aus 10... 20 cm Beton, bei Schadstoffen aus

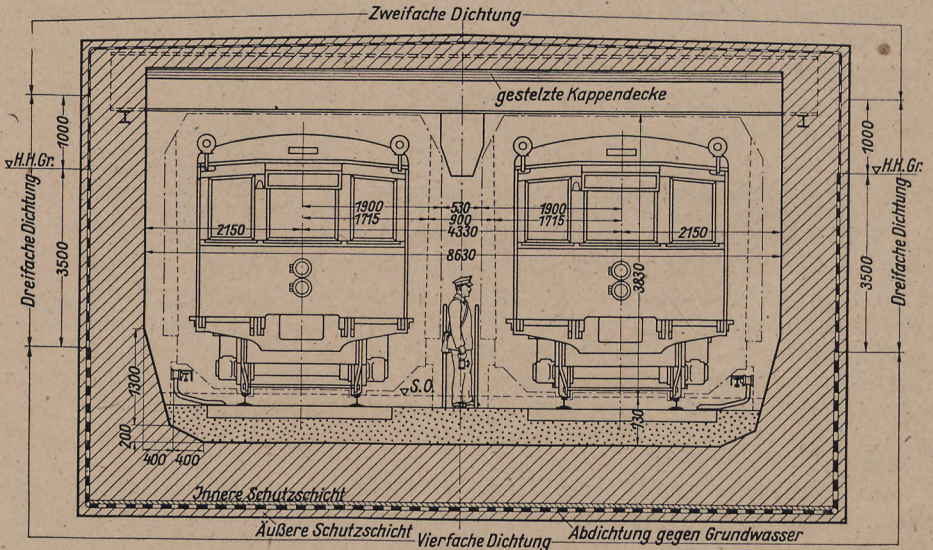


Bild 178. Tunnelquerschnitt einer Untergrundbahn

einer Klinkerflachschicht (eventuell in Asphalt oder Bitumenmörtel verlegt). Auf diese Unterlage wird die Dichtungshaut aufgebracht. Hiärauf kommt zunächst eine Schicht von  $\geq 5$  cm Feinbeton, damit sich keine Steine in die Dichtung eindrücken können und damit auch bei Verlegung der Stahlbewehrung der Fundamentplatte keine Beschädigung der Dichtung erfolgt (Bild 177).

Die Ausführung der Seitendichtung ist von der Gesamtbauausführung abhängig. Bei Spundwandbaugruben wird an der Spundwand eine einen halben Stein starke Ziegelwand errichtet. Die Kehle zwischen ihr und der Beton- oder Klinkerflachschicht unterhalb der Sohdichtung ist sorgfältig auszurunden (Halbmesser 4... 10 cm). Das Kleben der Sohle und der Seiten erfolgt bis zur Abstiefung in einem Arbeitsgang. Bei Baugruben unter Böschung werden nach Herstellung der Sohdichtung zunächst die aufgehenden Wände des Bauwerks (unter Umständen das gesamte Bauwerk) fertiggestellt und dann von außen abgedichtet. Bei dieser Ausführung ist vor allem auf eine gute Verbindung der Sohlen- und der Seitendichtung zu achten. Vor Ausführung der Sohlendichtung werden auf der Unterlage dieser Dichtung am Rande behelfsmäßig kleine Magermörtelmauern errichtet (Bild 150, Seitenbild), über die ein Überstand der Sohlbahnen hinübergeführt wird. Nach Fertigstellung der aufgehenden Wände bzw. des Bauwerks werden diese Behelfsmauern fortgenommen und die Überstände an den Wänden hochgeführt. Vor der fertigen Seitendichtung wird in 4... 6 cm Abstand eine Ziegelschutzschicht hergestellt, der Zwischenraum wird vorsichtig mit Feinmörtel ausgefüllt, die Schutzschicht laufend mit dem Höherführen mit Boden hinterstampft.

Bei dem oberen Abschluß der Dichtungshaut ist darauf zu achten, daß kein Wasser (auch kein Sickerwasser) von oben zwischen Mauer und Dichtungshaut eindringen kann (Bild 177).

Deckenabdichtungen werden in gleicher Weise hergestellt. Bei dem Anschluß an die Seitendichtung sind die Ecken des Bauwerks mit  $r = 4 \dots 10$  cm abzurunden. Auf die fertige Dichtungshaut kommt eine Schicht von  $\geq 5$  cm Feinbeton, die, falls erforderlich, noch mit einer Schutzabdeckung (Ziegelflachschiicht, Betonschicht mit Stahlgewebe oder dergleichen) versehen wird (Bild 178).

Die gleichen grundsätzlichen Regeln gelten für die Ausführung einer Dichtungshaut aus Bahnen mit Metallfolie oder aus dünnen Blechbändern.

### 3. Spachtelmassen

Die Ausführung von Abdichtungen mit Spachtelmassen zeigen die Bilder 179 und 180, bei denen die Abdichtung mit Naturasphalt erfolgt ist. Der Übergang zwischen Sohl- und Seitendichtung wird durch eine Dreikantleiste aus Naturasphalt hergestellt. Da

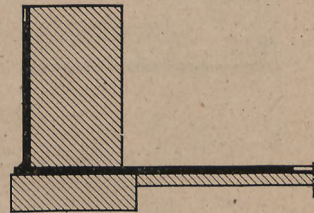


Bild 179. Abdichtung aus Naturasphalt ohne Vormauerung

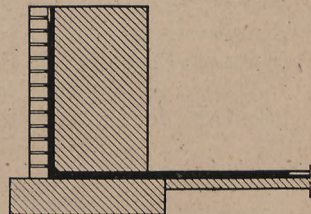


Bild 180. Abdichtung aus Naturasphalt mit massiver seitlicher Schutzschicht

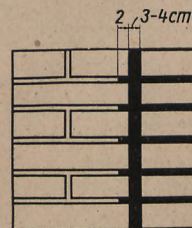


Bild 181. Sperrschicht aus Gußasphalt mit Steinverblendung

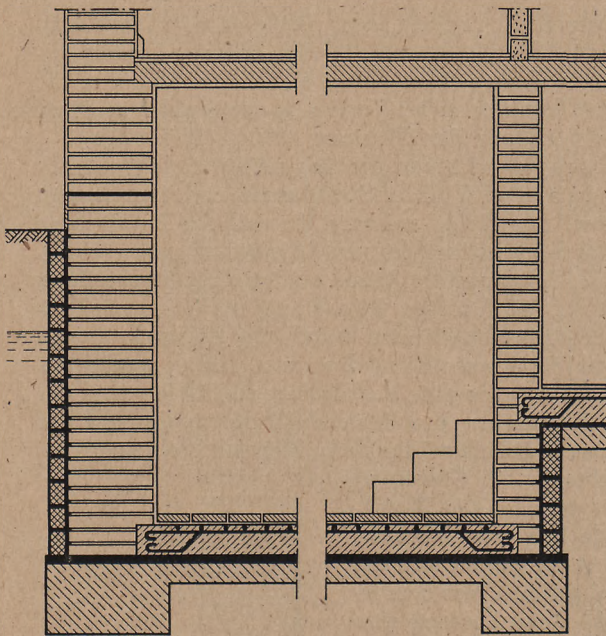


Bild 182. Absperrung des Kellergeschosses mit Gußasphalt bei Grundwasser

der Naturasphalt keine Einpressung benötigt, kann eine besondere Schutzschicht aus Mauerwerk oder Beton fehlen (Bild 179), falls nicht eine besondere Gefahr der mechanischen Beschädigung besteht (Bild 180). Diese Schutzschicht kann auch verzahnt mit dem Bauwerk verbunden werden, wie es z. B. bei Luftschutzbauwerken in Rücksicht auf die starken Erschütterungen erfolgen muß.

**4. Gußasphalt**

Ummantelungen mit Gußasphalt für stärkeren Wasserdruck zeigen die Bilder 181 u. 182. Die Fugen des Grundmauerwerks werden etwa 2 cm tief ausgekratzt, worauf das Bauwerk einen kalten Bitumenvoranstrich erhält. In 2...3 cm von der tragenden

Wand wird eine  $\frac{1}{4}$  oder  $\frac{1}{2}$  Stein starke Ziegelmauer errichtet. Die Steine werden vor der Verarbeitung in kochende Asphaltmasse getaucht und in Asphaltmastix verlegt. Gleichzeitig mit dem Hochführen der Mauer wird der 2...3 cm starke Zwischenraum mit Gußasphalt ausgegossen, der auch in die ausgekratzenen Mauerfugen eindringt und so eine innige Verbindung schafft.

Wird wegen etwaiger Erschütterungen eine noch bessere Verbindung der Schutzwand und der Gußasphaltschicht mit der tragenden Wand erforderlich, kann auch

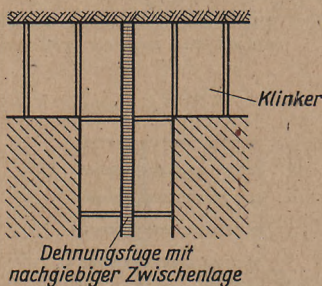


Bild 183. Dehnungsfuge bei Klinkerverblendung

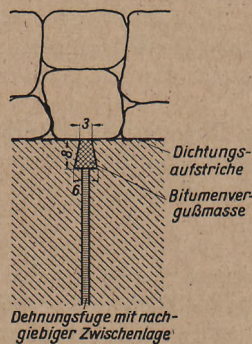


Bild 184. Dehnungsfuge bei Dichtungsaufstrichen

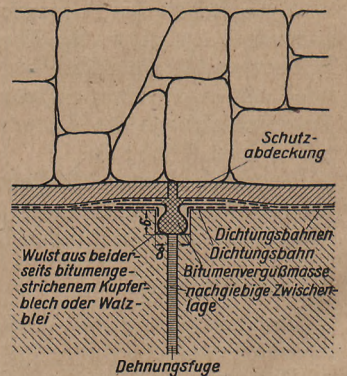


Bild 185. Dehnungsfuge bei Dichtungsbahnen

hier eine Verzahnung erfolgen; es kann auch die Dichtungsschicht in die Mitte der tragenden Wand gelegt werden, wodurch allerdings die Tragfähigkeit beeinträchtigt wird.

**5. Abdichten von Fugen**

Man unterscheidet Bau-, Dehnungs- und Bewegungsfugen. Bau-fugen, die lediglich durch einen Dichtungsaufstrich oder durch eine zwischengelegte getränkte Pappe gebildet werden, erfordern meist keine besondere Abdichtung.

Dehnungsfugen sind 5...20 mm breit mit elastischer Zwischenlage und sind je nach Abdichtung des Bauwerks entsprechend abzudichten. Die verschiedenen Ausführungen zeigen die Bilder 183 bei Klinkerverblendung des Bauwerks, Bild 184 bei Dichtungsaufstrichen, Bild 185 bei Dichtungsbahnen (nach der AIB, wo noch weitere Ausführungen dargestellt sind).

Bewegungsfugen, deren Breite je nach Größe der zu erwartenden Setzungen, mindestens aber 15 mm groß zu wählen ist, sind besonders bei der Verwendung von Dichtungsbahnen so sorgfältig auszubilden, daß die Dichtung alle Bewegungen mitmachen kann. Dies wird durch die Verwendung von Blechen erreicht. Bild 186 zeigt eine Bewegungsfuge bei nicht abgedichtetem Bauwerk, Bild 187 eine Bewegungsfuge bei Verwendung von Dichtungsbahnen (nach AIB). Um das Wasser möglichst schnell von den Fugen abzuleiten, empfiehlt es sich, dort eine flache Erhöhung anzuordnen (Bild 187).

Die Durchführung einer Rohrleitung durch die Dichtung, wie sie häufig erforderlich ist, zeigt Bild 188. Die Dichtungshaut ist zwischen einem aufgeschweißten und einem aufgeschraubten Rohrflansch eingepreßt.

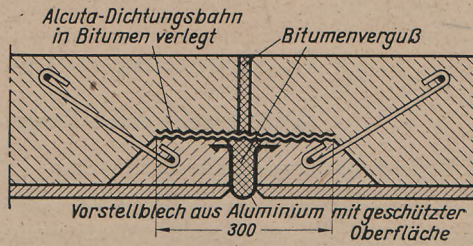


Bild 186. Bewegungsfuge bei nichtabgedichtetem Bauwerk

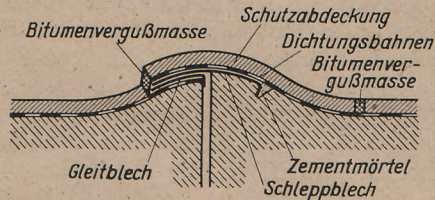


Bild 187. Bewegungsfuge bei Dichtungsbahnen

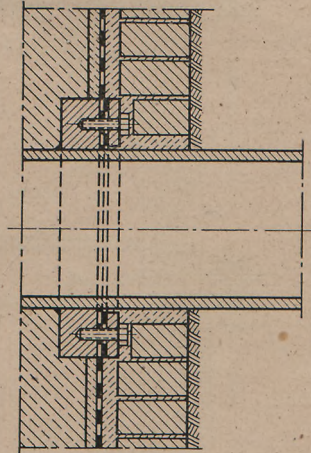


Bild 188. Durchführung einer Rohrleitung durch eine Dichtung

## D. Sicherung von gefährdeten Bauten

### a) Sicherung durch Baugruben gefährdeter Bauten

#### 1. Sichern durch neue Flachgründung

Müssen die Fundamente neuer Bauteile unter die Gründungssohle dicht benachbarter alter Bauten hinabgeführt werden, so müssen diese zuvor gegen Ausweichen, Setzen und Reißen gesichert und ihre Gründung in der Regel bis zur Sohle des Neubaus hinuntergeführt werden.

Bei dem An- und Einbau eines Hauses wird es sich meistens nur um eine nicht allzu große Tieferführung der neuen Hausfundamente gegenüber den alten handeln. Es werden also auch die alten Fundamente nur entsprechend wenig zu vertiefen sein.

Zunächst sind die aufgehenden Mauern gegen Ausweichen zu sichern, und zwar werden sie an den Stellen, die durch Querwände und Balkenlagen versteift sind, gegeneinander (Bild 189) oder bei zu großem Abstände durch Treibblenden (Bild 190)

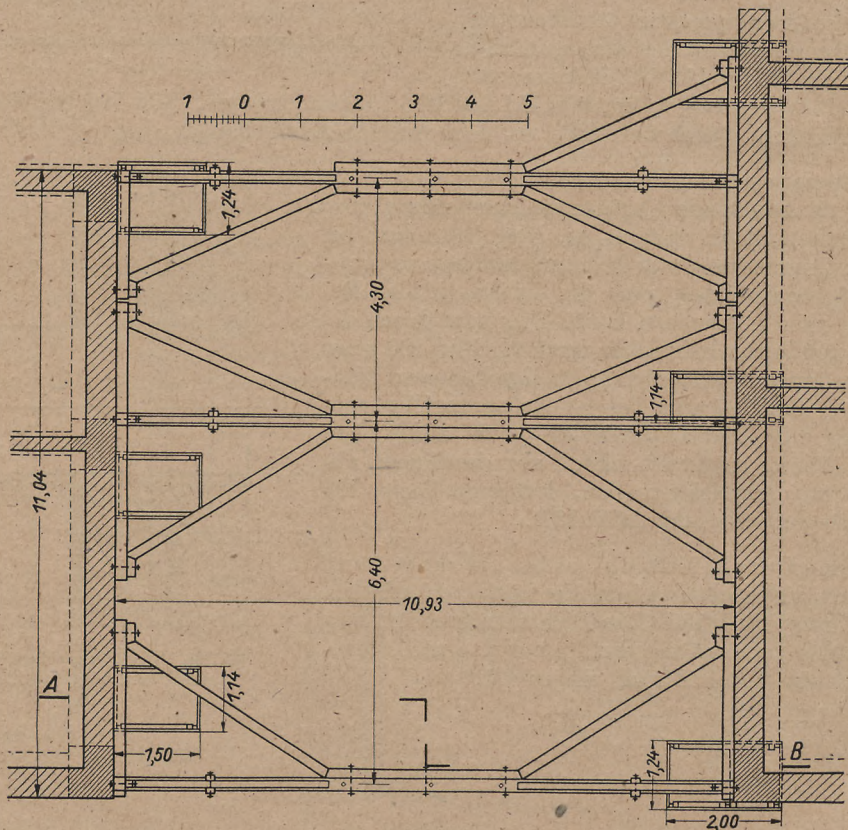


Bild 189a. Sicherung der Nachbarhäuser beim Einbau eines Hauses mit tieferer Gründungssohle (Grundriß)

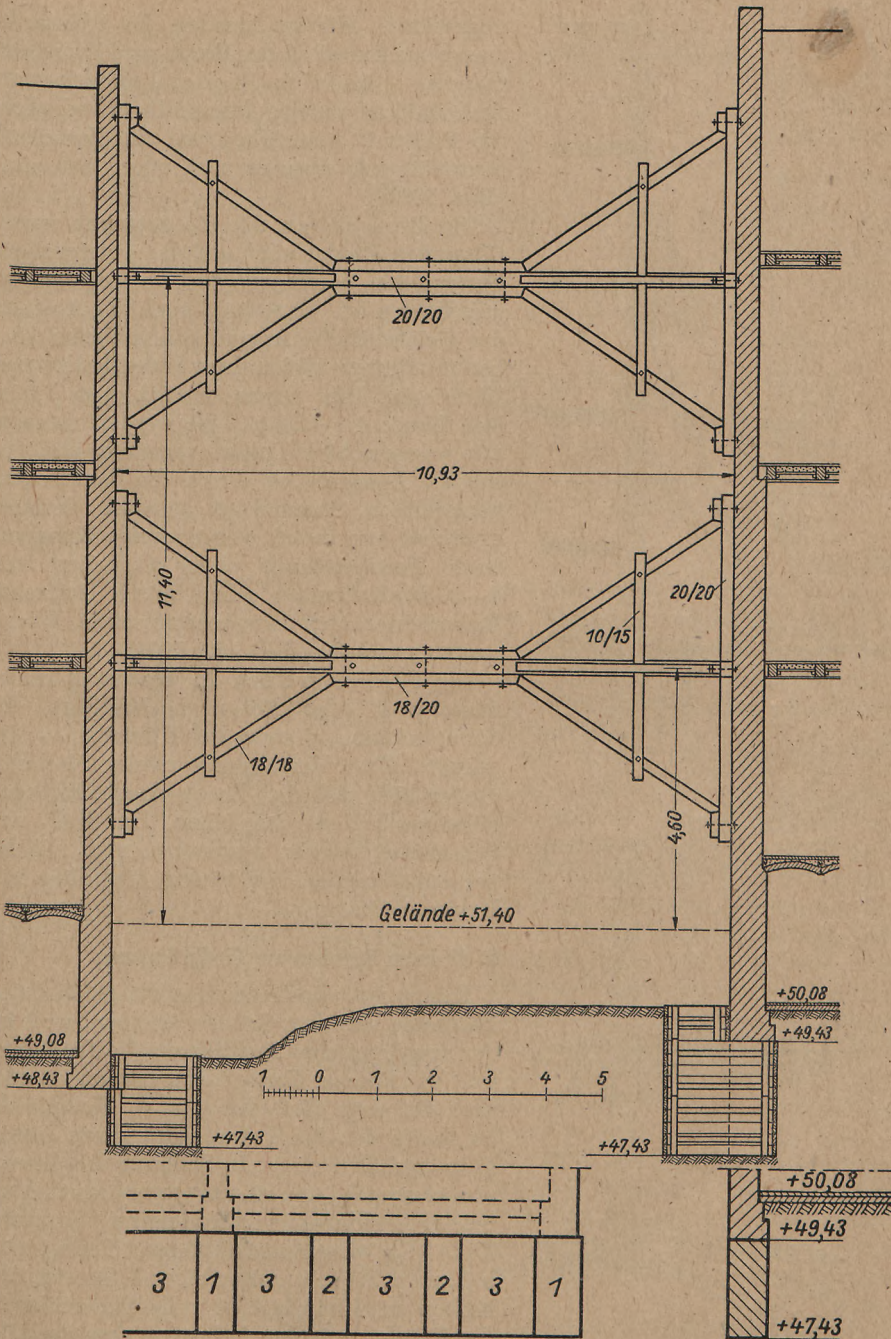


Bild 189b. Sicherung der Nachbarhäuser beim Einbau eines Hauses mit tieferer Gründungssohle (Schnitt)  
 Schulze, Grundbau [9318] 7. Aufl.

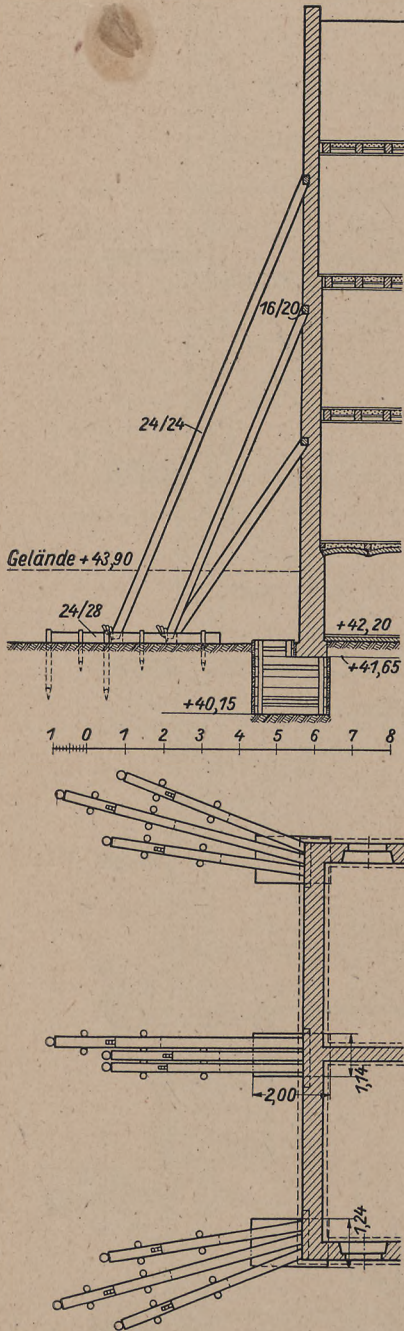


Bild 190. Sicherung eines Hauses beim Anbau eines neuen mit tieferer Gründungssohle

abgestützt. Hierauf werden die Wände — zuerst am Anschluß der Front- und Zwischenmauern — durch die Pfeiler 1 unterfangen. Anschließend werden dann, falls erforderlich, die Pfeiler 2 ausgeführt und die Zwischenräume 3 voll ausgemauert oder -betoniert (Bild 189b).

Die Baugruben für die getrennt auszuführenden Pfeiler sind auf das vorsichtigste herzustellen, damit jede Bodenbewegung ausgeschlossen ist. Dazu muß auch der Abstand der gleichzeitig in Angriff genommenen Gruben mindestens gleich ihrer anderthalbfachen Tiefe sein. Ihre Breite beträgt etwa 1,0 m, ihre Länge 1,5...2,0 m. Sie werden ringsum mit waagerechten Bohlen verschalt und dabei die Längsbohlen durch die dazwischengeklebten Stirnbohlen gehalten, letztere zunächst nur durch vorge nagelte Knaggen, nach Fertigstellung eines Gefaches von 4...5 Bohlenbreiten aber durch lotrechte Rahmhölzer und dazwischengesetzte Wandsteifen gesichert (Bild 189, 190).

Die Pfeiler werden in bestem Klinker- mauerwerk oder Beton hochgeführt, die Schlußschicht — stets aus Klinkern — eingekeilt. Eine Verzahnung zweier Nachbarpfeiler läßt sich bei Beton durch Einlegen hölzerner Dübel ermöglichen. Die Steif- und Schalhölzer werden wiedergewonnen, die dabei entstehenden Hohlräume sorgfältig mit Beton ausgestampft.

## 2. Sichern durch neue Tiefgründung

Häufig muß eine Sicherung von gefährdeten Bauteilen aus dem Grunde erfolgen, weil bei der ursprünglichen Ausführung die Tragfähigkeit des Bodens überschätzt worden ist oder weil die erste Gründung (z. B. Holzpfähle) im Laufe der Jahre durch geänderte Untergrundverhältnisse (z. B. Senkung des Grundwasserspiegels) unwirksam geworden ist. Auch bei der Ausführung von Neubauten mit großer Tiefe (Entwässerungsleitungen, Untergrundbahnen u. a.) in unmittelbarer Nähe von Altbauten wird häufig eine volle Tieferführung der Fundamente der Altbauten unwirtschaftlich, wenn nicht unmöglich sein. In all diesen

Fällen wird man eine nachträgliche Pfahlgründung ausführen müssen. Starke Erschütterungen sind hierbei zu vermeiden, so daß nur Ortpfähle in Frage kommen.

Es ist zu unterscheiden zwischen der Unterfangung von flach gegründeten Bauwerken und von bereits tiefgegründeten Bauteilen.<sup>1)</sup> Im ersteren Falle ist die Fundamentplatte auf Pfähle zu setzen. Durch

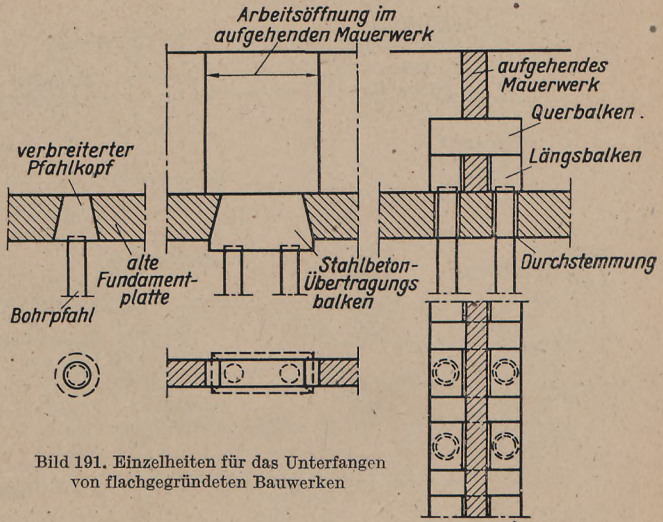


Bild 191. Einzelheiten für das Unterfangen von flachgegründeten Bauwerken

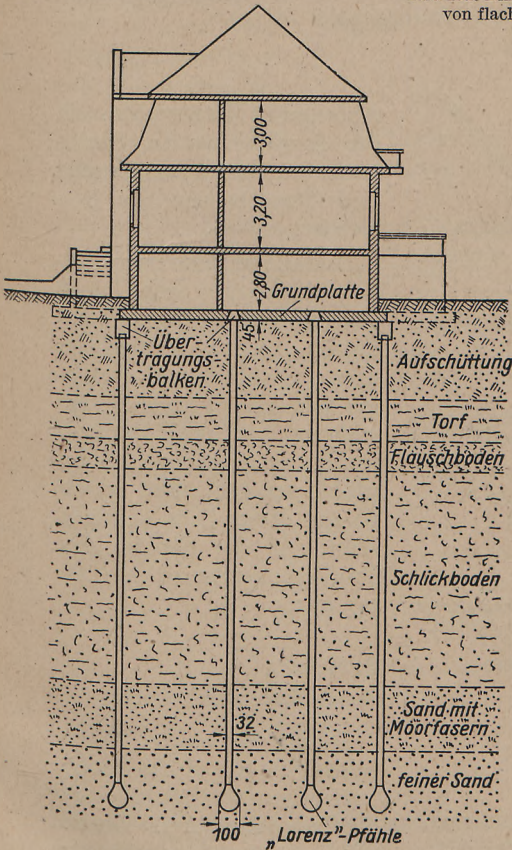


Bild 192. Unterfangen eines auf Grundplatte gegründeten Wohnhauses

entsprechende Stemmlöcher werden die Ortpfähle niedergebracht und mit Aufrauhung, Verzahnung und konischer Gestaltung des Pfahlkopfes in die Fundamentplatte eingebunden (Bild 191 und 192).

Bei bereits tiefgegründeten Bauwerken müssen dagegen die aufgehenden Bauteile selbst abgefangen werden, und zwar entweder durch Unterfangungsbalken (Bild 193a), wenn die Pfähle an beiden Seiten des Bauteiles angeordnet werden können, oder durch Kragbalken (Bild 193b), wenn die Pfähle nur auf einer Seite des Bauteiles niedergebracht werden können, oder schließlich durch eine Stahlbetonumschließung (Bild 193c), wie sie bei Pfeilern und Stützen meistens erforderlich ist. Die in Bild 193d dargestellte Unterfangung durch Walzträger entspricht den Unterfangungsbalken, wird jedoch heute nur noch bei sehr großen Lasten (Bild 203) oder bei vorübergehender

1) S. „Beton und Eisen“ 1928, Heft 22, Unterfangung bestehender Bauwerke mittels Bohrpfähle.



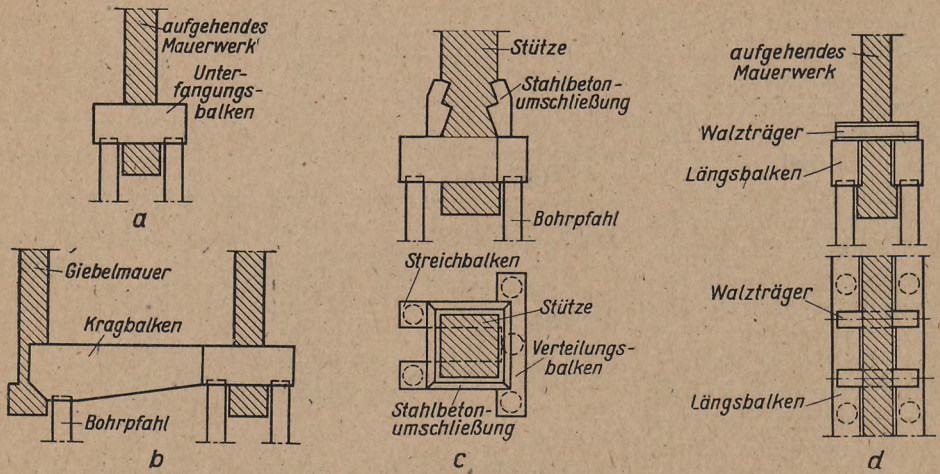


Bild 193. Einzelheiten für das Unterfangen von tiefgegründeten Bauwerken

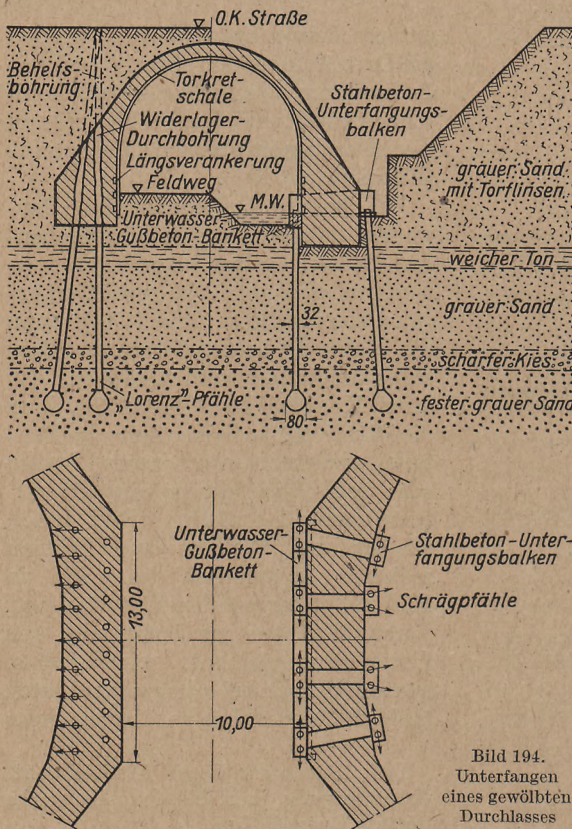


Bild 194. Unterfangen eines gewölbten Durchlasses

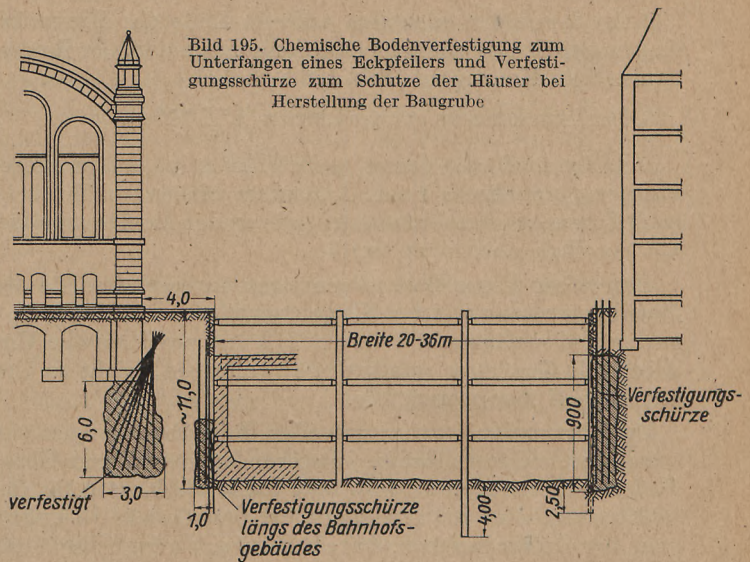
Abfangung angewandt, da die Ausführung in Stahlbeton für geringere Lasten und Dauerbauten die bessere ist.

Bild 194 zeigt die nachträgliche Abfangung eines falsch gegründeten Durchlasses, dessen rechtes Widerlager durch Stahlbeton-Unterfangungsbalken gesichert ist, während das linke Widerlager durch untergesetzte Bohrpfähle neu gegründet wurde, da auf dieser Seite in Rücksicht auf die Straße eine Profileinengung nicht zulässig war.

### 3. Sichern durch Bodenverfestigung

Durch die auf S. 20 beschriebene chemische Bodenverfestigung (Beton- und Tiefbau Mast AG., Berlin) wird sandiger und kiesiger Boden so verfestigt, daß er

sandsteinähnlichen Charakter annimmt. Durch Anwendung dieses Verfahrens ist es daher möglich, das Nachgeben und Abrutschen von Boden, der durch nahe liegende Baugruben gefährdet ist, zu verhüten. Bild 195 zeigt eine Bodenverfestigung unter dem Fundament eines Eckpfeilers am Empfangsgebäude eines Bahnhofs, der durch den Neubau einer Untergrundbahn gefährdet wurde. Außerdem wurden auf beiden Seiten der Baugrube Verfestigungsschürzen hergestellt, die ein Nachgeben des Baugrundes unter den beiden benachbarten Bauwerken sicher verhinderten.



### b) Sicherung durch Bergbausenkungen gefährdeter Bauten

Die in Bergbaugebieten erforderliche Sicherung der Bauten gegen Risse und Einsturz hat zwar Bewegungen des Baugrundes Rechnung zu tragen, unterscheidet sich aber grundsätzlich von der bisher besprochenen Sicherung durch Flach- oder Tiefgründung. Denn es gilt nicht, Bodenbewegungen zu verhindern oder zu verhüten, die auf die Baulast zurückzuführen sind, sondern vielmehr den Bau so auszugestalten, daß er Bodenbewegungen standhält, die unabhängig von der Baulast ihren Ausgang von einer dem Baufachmann wirtschaftlich nicht erreichbaren, meistens mehrere hundert Meter großen Tiefe nehmen.

Die Art der Bodenbewegung unter einem Bau, ob lotrecht oder schräg, ob unter der ganzen oder nur unter einem Teil der Bausohle, läßt sich nicht voraussagen. Nur über die Größe der Gefahr geben die Bergverwaltungen insoweit Auskunft, als sie drei Gefahrenzonen unterscheiden, in deren I. möglichst kein Bau errichtet werden soll, in II die Gefährdung eines Baues noch recht groß, in III geringer ist.

Um allen Möglichkeiten der Bodensenkungen gerecht zu werden, sind bei dem Entwurf folgende Fälle zu berücksichtigen:

1. Unter dem Bauwerk entsteht in der Mitte eine Senkungsmulde, der Bau stellt einen Träger auf zwei Stützen dar (Bild 196 a).



Bild 196. Senkungszustände infolge Bergbau

2. An dem einen oder dem anderen Ende des Bauwerks oder an den beiden Enden gleichzeitig entsteht eine Senkungsmulde, der Bau ist ein einseitiger oder zweiseitiger Kragträger (Bild 196 b und c).

3. Der Bau kann im ganzen kippen (Bild 196d).

Der Bau muß also derart ausgebildet sein, daß er Biegespannungen in jeder Richtung aufnehmen kann. Außerdem wirken auf ihn bei den Bodensenkungen noch Zerrungen und Pressungen, die an den Berührungsflächen der Fundamente mit der Erde übertragen werden.

Gegenüber diesen Beanspruchungen, insbesondere für den Zusammenhalt von Hochbauten bei etwaigem Kippen, sind immer günstig ein möglichst geschlossener und winkelrechter Grundriß und zwischen den Umfassungswänden und durch alle Geschosse gerade durchgehende, leicht zu bewehrende und zu verankernde Zwischenwände.

Die vornehmlich zu erwartenden Bodenbewegungen sind lotrechte. Um die dabei durch Unterhöhlung entstehenden Stütz- und Kragweiten der auf dem Boden aufstehenden Mauern und damit die Kosten für ihre biegezugsfeste Ausbildung tunlichst zu verringern, werden Gebäude größerer Grundfläche, auch der Reihenhausbau, durch Baufugen (vgl. Bild 104) unterteilt, die bei Großbauten mindestens bis zur obersten Geschoßdecke durchgehen, im Reihenausbau durch getrennte Giebelmauern erzielt werden.

Eine weitere Einschränkung der möglichen Stütz- und Kragweiten und damit der Kosten ist dadurch zu erreichen, daß die Gründungssohle — im Gegensatz zu der sonst im Grundbau geforderten Vorsicht — nicht zu groß bemessen wird. Es ist also  $\sigma_{zul}$  möglichst groß zu wählen. Allerdings muß man dafür schon bei kleiner Weite der entstehenden Senkungsmulden ein stärkeres Setzen des Baues in Kauf nehmen, doch gilt dieses im allgemeinen nicht für so bedenklich wie eine starke Beanspruchung auf Biegung mit ihrer Gefahr des Reißens. Diesem stärkeren Setzen kann von vornherein Rechnung getragen werden durch eine entsprechende Ausbildung des Baues, wie z. B. bei Hausbauten durch eine höhere Lage des Erdgeschosses über Gelände.

Wie groß die Bodenbeanspruchung  $\sigma_{zul}$  angenommen werden kann, ist immer durch Probelastungen zu ermitteln. Hierbei sollen die Lastflächen möglichst denen der zukünftigen Bauten nahekommen. Den besten Anhalt für die Wahl von  $\sigma_{zul}$  bieten die Erfahrungen, die in der gleichen Gefahrenzone der Gegend gemacht worden sind.

Sehr häufig werden sich bei Berücksichtigung der möglichen Senkungszustände so große Biegemomente ergeben, daß sie nur durch Träger von sehr großem Widerstandsmoment, von großer Höhe aufgenommen werden können. Diese als Grundbauten unter der Bausohle auszuführen, würde unnötig hohe Kosten verursachen, da ja die einmal vorhandene Masse der aufgehenden Mauern sich verhältnismäßig leicht zu Trägern von beliebiger Höhe zwischen Bausohle und Dachtraufe ausbilden läßt.

Die Träger in den Mauern kommen meistens als Stahlbetonbalken zur Ausführung — immer mit Doppelbewehrung —, um sowohl den positiven, wie den negativen Biegemomenten Rechnung zu tragen. Ihre Höhe ist abhängig von der angesetzten Stütz- oder Kragweite und Auflast.

Die Stahlbetonbalken werden selbstverständlich zunächst immer in die die ganze Baulast tragenden Kellermauern eingebaut; sie werden je nach der Größe des Biegemomentes als Rippen von geringerer oder größerer Höhe, bis unter die Fenstersohlbänke oder in ganzer Geschoßhöhe ausgeführt. In Türwänden verlangen Rippen von einiger Höhe zum Übersteigen vor den Türöffnungen Stufen. Ist dies nicht mehr durchführbar, so sind in Türwänden nur noch Stahlbetonbalken von Geschoßhöhe möglich. Zum Zusammenhalt dieser Balken und zur Verstärkung der Quersteifung sind sie an den Enden rahmenartig miteinander zu verbinden.

Derartige Träger mit Fenster- und Türöffnungen sind in Anlehnung an die Rahmen-träger (Vierendeelträger) zu berechnen. Im übrigen wird für die Berechnung auf das Verfahren von Prof. Dr.-Ing. Dischinger, Ermittlung der Eiseneinlagen von wandartigen Trägern, Beton und Eisen, 1933, S. 237 hingewiesen.

Horizontal werden die Bauwerke durch die Decken ausgesteift, die möglichst in Stahlbeton auszuführen sind. Sie sind fest mit den Mauern zu verankern. Dies kann ohne weiteres erfolgen, wenn die Geschoßmauern (wie z. B. häufig im Keller) in ihrer vollen Höhe Stahlbetonbalken sind. Ist dies nicht der Fall, so werden unmittelbar unter den Decken auf den Mauern besondere horizontale Stahlbetonrahmen angeordnet, in die die Decken zu verankern sind.

Bei Holzbalkendecken sind die Balken gleichfalls mit den Mauern gut zu verankern.

Reicht die Wandversteifung bis zur Kellerdecke, so entsteht ein in sich vollständig steifer, unten offener Hohlblock, der die Bodenbewegungen nur als Ganzes mitmacht und als sicherer Unterbau eines nicht zu ausgedehnten oder zu hohen Gebäudes oder durch Baufugen abgetrennten Gebäudeteils gelten dürfte.

Erhebliche Abmessungen eines Gebäudes nötigen dazu, die biegungsfeste Ausbildung der Mauern bis in das Erdgeschoß oder noch höher zu erstrecken, dem vielfach die Errichtung eines Skelettbauwes in Stahlbeton oder Stahl am besten entsprechen wird.

Die meist große Lasten auf den Baugrund übertragenden Tiefbauten sind, soweit wie möglich, durch Baufugen (Bild 183...187) in Einzelteile zu zerlegen und diese entsprechend den Möglichkeiten des Durchhängens und Überkragens biegungsfest auszubilden. Die Kosten der dazu erforderlichen Bewehrung lassen sich auch bei Tiefbauten öfters dadurch verringern, daß unter Annahme einer höheren zulässigen Baugrundbeanspruchung, als sonst üblich, die Gründungssohle, z. B. von Wasserbehältern (Bild 197)<sup>1)</sup>, Kühltürmen, Gasbehältern, eingeschränkt wird, was allerdings meistens ringsum Auskragungen verlangt.

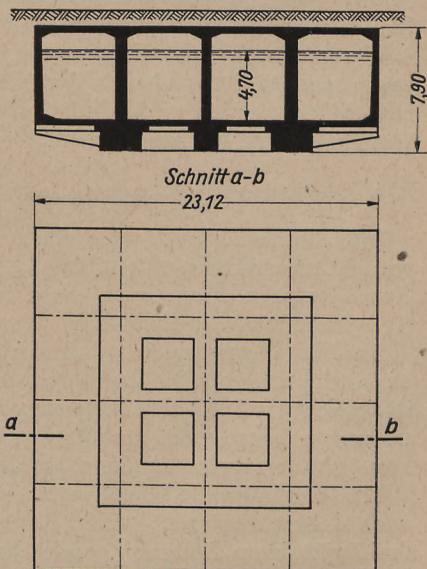


Bild 197. Einschränkung der Gründungssohle eines Wasserbehälters

1) Brennecke-Lohmeyer, Band III, Abb. 284.

Überspannende Bauteile, wie Brückenträger, sind nur statisch bestimmt aufzulagern, damit sie beim Sinken nur eines Auflagers keine Mehrbeanspruchung erfahren. Zum Wiederanheben ist für die Hebevorrichtungen neben den Auflagern genügend Platz auf den Widerlagern und Pfeilern vorzusehen.

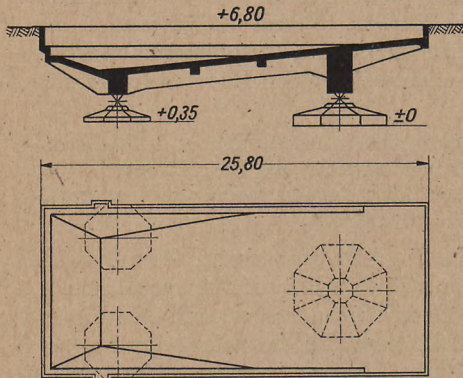


Bild 198. Dreipunkt-lagerung eines Schwimmbeckens

Die statisch bestimmte Dreipunkt-lagerung des Bauwerks (Bild 198)<sup>1)</sup> hat den Vorzug, daß das Setzen eines oder zweier Auflager nur eine Schrägstellung verursacht, die durch Anheben wieder beseitigt werden kann. Doch wird die Ausbildung der wenigen Lager von ausgedehnten schweren Bauwerken sehr schwierig und kostspielig. Hinzu kommt, daß die waagerechten Zerrungen des Bodens, die am Rande, und die Pressungen, die in der Mitte der Senkungsmulde infolge der Rutschungen nach dieser hin entstehen, nur ein oder zwei Auflager mitnehmen und waagerechte Kräfte auf das Bauwerk übertragen können. Man sucht dem dadurch abzuweichen, daß man die Reibung zwi-

schen Lagerplatte und Baugrund durch eine glatte, mit Asphaltbitumenpappe abgedeckte Betonunterplatte verringert, so daß diese mit dem Boden unter der Lagerplatte weggleiten kann. Kayser<sup>2)</sup> schlägt dafür Rollenlager vor. Jedenfalls empfiehlt es sich, die drei Lager gelenkig miteinander zu verbinden, damit sie sich zwar unabhängig voneinander lotrecht setzen, aber die waagerechten Kräfte aufeinander übertragen, das Bauwerk selbst davon entlasten können.

Wasserbauten wie Ufermauern, Schiffahrtsschleusen, deren Wasserstand wegen der nichtgesunkenen Strecken der Fluß- oder Kanalsohle in der Regel beibehalten werden muß, sind von vornherein so stark auszubilden, daß sie, abgesunken, ohne weiteres erhöht werden können.

### c) Sicherung durch Unterspülung gefährdeter Bauten

In fließendem oder durch Wellenschlag bewegtem Wasser sind die Grundbauten gegen Unterspülung zu schützen. Es geschieht dies meistens durch tiefgreifende Spundwände oder, wenn solche nicht geschlagen werden können, durch eine Steinschüttung, die infolge des großen Gewichts ihrer Einzelsteine ein Auskolkten der Gewässersohle und Freilegen der Grundbauten durch die Strömung verhütet, manchmal auch durch beide Vorkehrungen zugleich. In jedem Fall ist jedoch die Sohle des Bauwerks genügend tief unter Gewässersohle zu legen, weswegen heute z. B. die Strompfeiler großer Brücken fast ausschließlich im Druckluftverfahren gegründet werden.

Eine ungenügende Sicherung wirkt sich häufig erst nach Jahren, manches Mal nach Jahrzehnten aus, wie z. B. der Einsturz einer größeren Wehranlage nach dreißigjährigem Bestehen gezeigt hat.

1) Brennecke-Lohmeyer, Band III, Abb. 285.

2) Der Bauingenieur, 1929, Heft 16, S. 276 bis 278.

Die Sicherung der Gewässersohle erfolgt durch eine Steinschüttung, und zwar in der Weise, daß die Flußsohle um das Bauwerk gem. Bild 199 mit Steinen gesichert und auch der etwaige Zwischenraum zwischen Spundwand und Bauwerk mit Steinen gefüllt wird. Die Oberkante der Schüttung muß mit der Flußsohle abschneiden, damit nicht das Durchflußprofil verengt wird und durch die dadurch erhöhte Stromgeschwindigkeit die Steine um so leichter fortgerissen werden könnten. Die Flußsohle ist daher zu nächst entsprechend auszubaggern. Am gefährdetsten sind Strompfeiler vornehmlich am Kopf und den Langseiten, jedoch ist bei sehr starker Gefährdung der gesamte Durchflußquerschnitt einer Brücke zu sichern.

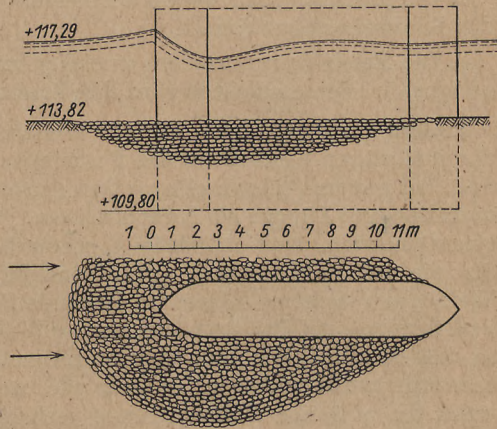


Bild 199. Steinschüttung zum Schutz eines Strompfeilers gegen Unterspülung

Zu Schüttsteinen eignen sich kantige, flache Steine besser als runde, die unter der Einwirkung der Strömung leicht ins Rollen kommen. Die größten Steine werden zur Abdeckung verwendet. Noch mehr empfehlen sich hierzu Kettensteinwürfe, die aus möglichst gleich großen, durch 1 m lange Ketten verbundenen Steinen bestehen (Bild 200) und in zwei sich kreuzenden Lagen über die lose Steinschüttung ausgebreitet werden.

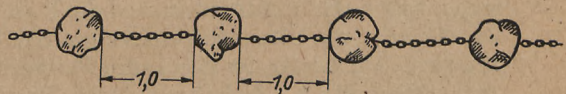


Bild 200. Steinkette

Sind große Steine schwer zu beschaffen, so kann die Sicherung auch durch Senkfaschinen oder Sinkstücke erfolgen.

Für Durchlässe bildet die Abpflasterung oder Auswölbung der Sohle den üblichen Schutz gegen Unterspülung der Wangenmauern.

#### d) Sicherung von Bauwerken gegen Erschütterungen

##### I. Sichern gegen Verkehrserschütterungen

Verkehrserschütterungen können nicht nur eine Belästigung der Bewohner eines Gebäudes darstellen, sie können so groß sein, daß sie sogar den Bestand des Gebäudes gefährden. Es ist nur sehr schwer möglich, ein Bauwerk gänzlich vor Erschütterungen zu schützen (s. DIN Vornorm 4150, Erschütterungsschutz im Bauwesen, Abschnitt III). Um die Erschütterungen und ihre Wirkungen zu verringern, gibt es mehrere Wege:

1. Abgesehen von der Wahl eines Geländes, das nicht an stark befahrenen Verkehrswegen liegt, können die Erschütterungen stark eingeschränkt werden durch entsprechende Wahl der Straßenbefestigung, d. h. durch Anordnung von fugelosen Fahrdammfestigungen (Asphalt, Teer, Beton) oder Fugenverguß bei

Steinpflaster. Auch muß die Straßendecke wellenfrei sein. Schachtabdeckungen usw. dürfen keine Unebenheiten bilden.

2. Die Erschütterungswellen werden durch bauliche Maßnahmen vor Erreichen des Bauwerkes abgedämmt.

3. Die Erschütterungswellen erreichen zwar das Bauwerk. Durch Einbau von geeigneten Dämmschichten wird ihre Ausbreitung im Gebäude abgedämmt.

**Einfluß des Baugrundes.** Für die Wellenlänge und Wellengeschwindigkeit und damit für ihren Einfluß auf das Bauwerk ist der Baugrund von erheblichem Einfluß. Bei gutem (elastischem) Baugrund haben die Wellen größere Geschwindigkeiten und Längen als bei schlechtem. Da lange Bodenwellen (bei gutem Baugrund) meistens das Gebäude im ganzen heben und senken, sind sie ungefährlicher als die bei schlechtem (plastischem) Baugrund entstehenden kurzen Wellen, die leicht zu Rissen im Gebäude führen können. Auch wirkt das Heben und Senken eines Bauwerks bei kurzen Wellen hammerartig auf den Untergrund, so daß es allmählich eine darunterliegende plastische Bodenschicht zusammenpreßt und so selbst mehr oder weniger starke Senkungen erfährt (auch wenn die zulässige Bodenpressung rechnermäßig nicht überschritten wird). Diese Senkungen werden selbstverständlich abhängig sein von der Bodenpressung unter den Fundamenten. Um also gleichmäßige Setzungen eines Bauwerks zu erhalten, sind alle Fundamente so auszubilden, daß sie gleiche Bodenpressung haben. Außerdem sind die Fundamente durchlaufend und starr auszubilden, um Setzungen eines einzelnen Teiles und damit sein Abreißen zu verhindern. Am besten ist das ganze Bauwerk steif und kastenförmig auszubilden (vgl. Abschnitt b, Sicherung durch Bergbausenkungen gefährdeter Bauten). Mauerwerk ist in Zement- oder Kalkzementmörtel auszuführen, und es sind reichlich kräftige Anker anzuordnen. Schließlich empfiehlt es sich, die Bauwerkslasten auf einen unter der plastischen Schicht liegenden guten (elastischen) Baugrund hinabzuführen (z. B. Pfahlgründung), selbst wenn die plastische Schicht an und für sich genügend tragfähig wäre, um die Bauwerkslasten aufzunehmen.

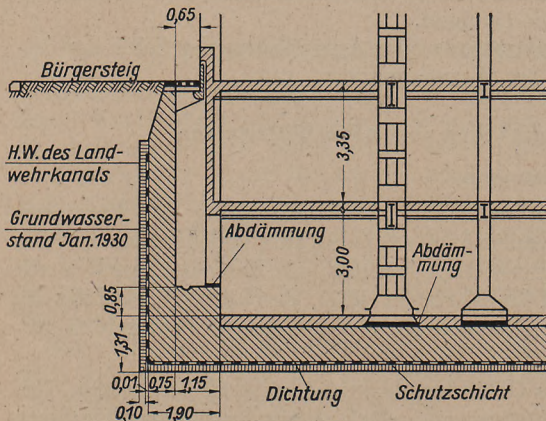


Bild 201. Abdämmung eines Gebäudes gegen Erschütterung durch den Straßenverkehr

#### Abdämmen der Erschütterungen vor dem Bauwerk.

Grundlegend für jeden Erschütterungsschutz ist, daß bei der Schutzkonstruktion nirgends eine Wellenbrücke vorhanden ist, die den Wellen die Überquerung der Sperr- oder Dämmschicht ermöglicht. Sollen die Erschütterungen von dem Bauwerk abgehalten werden, so kann ein Luftschacht um das ganze Bauwerk herumgelegt werden, der es von dem Boden trennt, der die Erschütterungen weiter leitet. In dieser Art ist z. B. ein großes Bürohaus geschützt

worden (Bild 201 und 202).<sup>1)</sup> Die 1 m starke Stahlbetongrundplatte des Stahlskelettgebäudes ist an den Seiten bis Bürgersteigkante hochgezogen. Durch den um das ganze Haus herumlaufenden Luftschlitz ist die

Luftschachtkonstruktion einschl. ihrer Abdeckung vom Gebäude selbst getrennt. Es können daher Erschütterungen, die von dem Straßenverkehr herühren, nicht unmittelbar an das Haus gelangen, vielmehr nur noch durch die Grundplatte, über der sie jedoch abgedämmt werden (s. nächster Abschnitt). Hieraus folgt jedoch, daß die Anordnung von Luftschacht und Luftschlitz allein nicht einen vollkommenen Schutz vor Erschütterungen gewährleistet.

Beim Bau von Untergrundbahnen spielt die Frage der Abdämmung der in unmittelbarer Nähe der Häuser liegenden Untergrundtunnel eine große Rolle. Bild 203<sup>2)</sup> zeigt die Abdämmung zwischen dem Tunnel und der Abfangkonstruktion eines Gebäudes. Der Tunnel, der selbst in der Quer- und Längsrichtung biegeungssteif ausgebildet sein muß, berührt nirgends die Abfangkonstruktion, die das Fundament des Hauses darstellt. Zwi-

1) Bautechnik 1932, Heft 10, Sicherung des Bürohauses der Rhenania-Ossag in Berlin gegen Verkehrserschütterungen, von Hort, Mensch, Waas.

2) Zentralblatt der Bauverwaltung 1938, Heft 20, Der Bau der Berliner Nordsüd-S-Bahn, von Dir. Grabski.

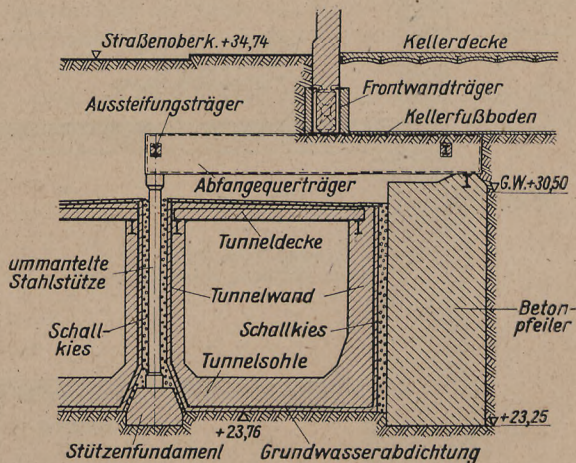
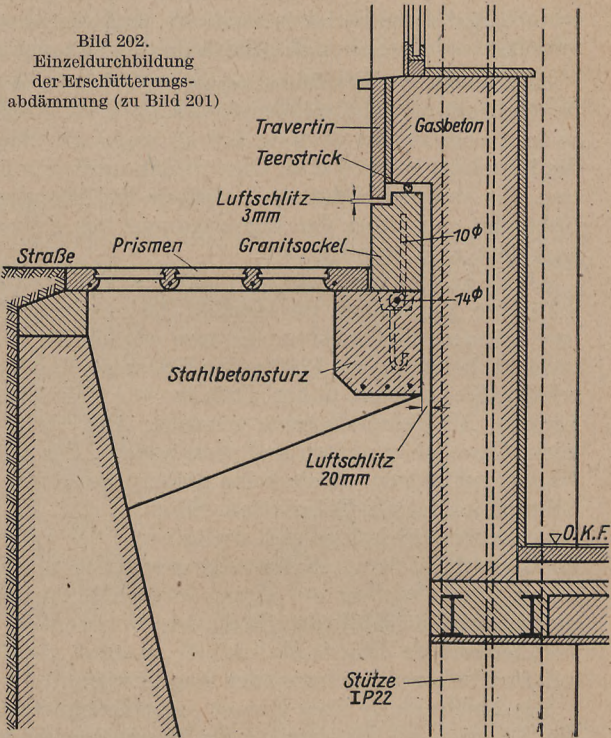


Bild 203. Abdämmen eines Untergrundbahntunnels



sehen Tunnelwand und Betonpfeiler ist eine Schicht von Schallkies, einem Kies besonderer Körnung, eingebaut. In gleicher Weise sind auch die ummantelten Stahlstützen durch eine Umhüllung mit Schallkies von dem Tunnel getrennt. Auf diese Weise ist erreicht, daß die Erschütterungen infolge des Zugverkehrs vor Erreichen des Gebäudes abgedämmt werden.

**Abdämmen der Erschütterungen im Gebäude.** Haben die Erschütterungswellen das Gebäude erreicht, müssen sie so schnell wie möglich vernichtet oder mindestens so weit abgedämmt werden, daß sie weder für das Gebäude gefährlich noch für die Bewohner störend sind. Dies erfolgt durch den Einbau elastischer Schichten, die so ausgebildet sind, daß sie die Eigenfrequenz (Schwingungszahl) des Gebäudes gegenüber der Eigenfrequenz des Erdreiches, die durch den Verkehr ausgelöst wird, verstimmen.

Als Baustoff für derartige elastische Schichten sind außerordentlich viele verschiedene Materialien im Handel. Zu unterscheiden sind Dämmplatten und Dämmstoffmatten. Erstere werden für waagerechte Abdämmungen gebraucht, bei denen die Platte eine Belastung durch das darüber stehende Bauwerk erhält. Sie müssen daher Drücke von mindestens  $5 \dots 15 \text{ kg/cm}^2$  aufnehmen können. Als Beispiele seien genannt: Antivibrit, Asphalt-Korkolit, Rein-Preßkork, Gewebebauplatten und viele andere. Für seitliche Abdämmungen genügen Dämmstoffmatten, da sie keine größere Belastung aufzunehmen brauchen: z. B. Vibraphon-Matten, Telamatten, Siloplast u. a. An alle Dämmstoffe ist die Forderung zu stellen, daß sie sich weder unter der aufgetragenen ruhenden Last noch im Laufe der Zeit durch die aufgenommenen Erschütterungen zusammenpressen, damit die Luftzellen, auf denen ihre abdämmende Wirkung beruht, nicht vernichtet werden. Einlagige Stoffe wie Bitumenfilz, Pappe u. a. können wohl eine vorübergehende Dämmung erzielen, werden aber, da sie keine Federungseigenschaften haben, über kurz oder lang unwirksam.

Die Abdämmung eines Hauses gegen Erschütterungen zeigt Bild 204. Hier sind die Dämmstoffe gleichzeitig als Feuchtigkeitsschutz ausgenutzt. Die auf der

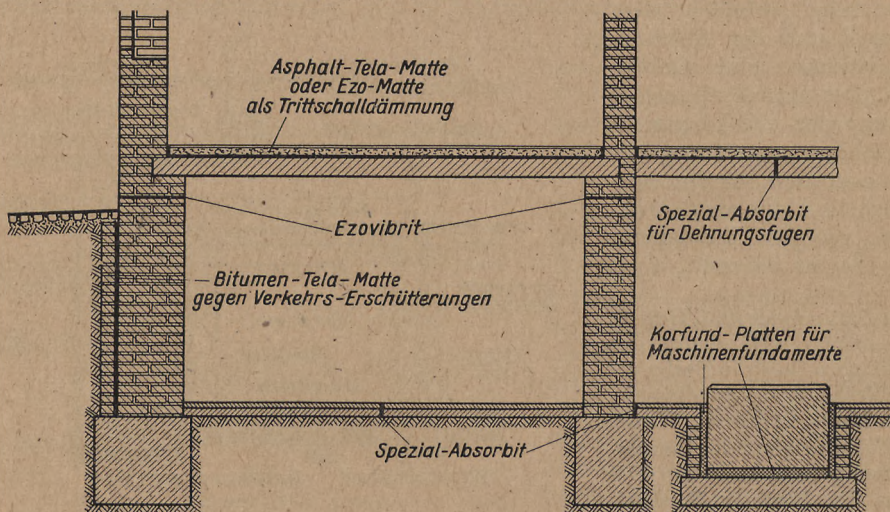


Bild 204. Abdämmen von Erschütterungen im Gebäude

Kellerdecke liegende Dämmstoffmatte schützt gegen die Übertragung des Trittschalls. Derartige Dämmungen sind oberhalb der tragenden Deckenkonstruktion anzuordnen, damit die Versteifung des Gebäudes nicht leidet.

Das im vorigen Abschnitt besprochene Stahlskelettbürohaus ist gegen die Grundplatte durch Antivibrationsplatten abgedämmt (Bild 201), und zwar erfolgte die Abdämmung der Stahlkonstruktion durch Einbau der Dämmplatten unterhalb der Stützenfüße. In gleicher Weise ist auch die Ausfachung des Kellergeschosses gegen die Grundplatte abgedämmt.

## 2. Abdämmen von Erschütterungen infolge Maschinenbetriebes

Für die Abdämmung von Erschütterungen, die von Maschinen ausgehen, gelten sinngemäß die für die Verkehrserschütterungen gemachten Ausführungen. Das Maschinenfundament muß ohne jede Wellenbrücke von dem Bauwerk (auch dem Fußboden) getrennt werden. In Bild 204 ist das Maschinenfundament auf allen Seiten mit Dämmplatten umgeben, die die Erschütterungen gegen das Gebäude abdämmen. Infolge der starken Schwingungen ist bei Maschinen häufig der Einbau von Dämmplatten nicht ausreichend, da ihre Federung zu gering ist. In solchen Fällen muß die Abdämmung durch Schwingungsdämpfer mit Stahlfedern (Bild 205), die zwischen Fundament und Maschinenfußplatte einzubauen sind, erfolgen.

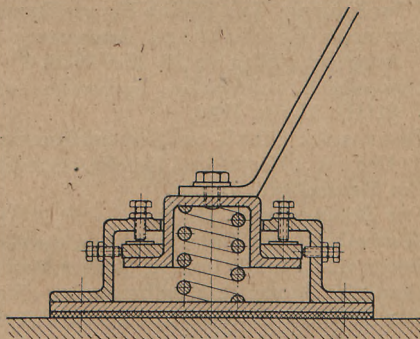


Bild 205. Schwingungsdämpfer

Es sind fast immer große Fundamentmassen und weiche Federungen zu wählen, da dann die Eigenschwingzahl des Fundaments erheblich niedriger ist als die der Maschine (tiefe Abstimmung). Eine hohe Abstimmung, d. h. geringe Fundamentmassen mit harter Federung, kommt nur in Frage bei Maschinen mit geringer Schwingzahl, wenn Rohre an die Maschine starr angeschlossen werden müssen und wenn eine tiefe Abstimmung nicht möglich ist.

Benachbarte Decken dürfen nicht auf Maschinenfundamenten aufgelegt werden. Es empfiehlt sich, auf Geschoßdecken nur möglichst erschütterungsfreie Maschinen aufzustellen.



## Schrifttumsverzeichnis

- Brennecke-Lohmeyer: Der Grundbau. Berlin 1934/38/41.  
Franzius, O.: Der Grundbau. Berlin 1927.  
Agatz: Der Kampf des Ingenieurs gegen Erde und Wasser im Grundbau. Berlin 1936.  
Handbuch für Eisenbetonbau, 4. Band, Grundbau von O. Colberg. Berlin 1936.  
v. Terzaghi: Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage. Leipzig 1925.  
Loos: Praktische Anwendung der Baugrunduntersuchungen. Berlin 1937.  
Kögler-Scheidig: Baugrund und Bauwerk. Berlin 1941.  
Deutscher Ausschuß für Baugrundforschung, Richtlinien für bautechnische Bodenuntersuchungen. Berlin 1941.  
Trier-Tode: Unterwassergußbeton nach dem Contractor-Verfahren. Berlin 1931.  
Kyrieleis-Sichardt: Grundwasserabsenkung bei Fundierungsarbeiten. Berlin 1930.  
Schultze-Sichardt: Grundwasserabdichtung. Berlin 1931.  
Grün, R.: Der Beton. Berlin 1937.  
Dieckmann, D.: Kleine Baustoffkunde. Braunschweig 1936.  
Deutsche Reichsbahn, Anweisung für Mörtel und Beton (AMB), 2. amtliche Ausgabe, gültig ab 25. Mai 1936.  
Deutsche Reichsbahn, Vorläufige Anweisung für Abdichtung von Ingenieurbauten (AIB). Berlin 1940.  
Doorentz: Schall- und Erschütterungsschutz für Hochbauten. Berlin 1935.  
Zeller, W.: Lärm- und Erschütterungsabwehr im Hochbau. Berlin 1937.  
Die Bautechnik. Berlin.  
Der Bauingenieur. Berlin.  
Zentralblatt der Bauverwaltung vereinigt mit Zeitschrift für Bauwesen. Berlin.  
Beton und Stahlbetonbau (früher Beton und Eisen). Berlin.  
Deutsche Bauzeitung, insbesondere „Konstruktion und Ausführung“. Berlin.  
Der Deutsche Baumeister, Zeitschrift der Fachgruppe Bauwesen im NS. Bund Deutscher Technik. Berlin.  
Die Straße, herausgegeben vom Generalinspekteur für das deutsche Straßenwesen. Berlin.  
Monatsblätter der Siemens-Bauunion G. m. b. H., Berlin-Siemensstadt.  
Demag Nachrichten der Demag Aktiengesellschaft, Duisburg.  
Technische Blätter der Neue Baugesellschaft Wayß & Freytag, AG.  
Die Schalltechnik, Hausmitteilung der Emil Zorn, AG., Berlin-Heinersdorf, und sonstige Sonderschriften.
- DIN<sup>1)</sup> 4021, Grundsätze für die Entnahme von Bodenproben.  
4022, Einheitliches Benennen der Bodenarten und Aufstellen der Schichtenverzeichnisse.  
4107, Richtlinien für die Beobachtung der Bewegungen entstehender und fertiger Bauwerke.  
1179, Körnungen für Sand, Kies und zerkleinerte Stoffe.  
4912, Nahtlose Bohrrohre.  
1054, Richtlinien für die zulässige Belastung des Baugrundes und der Pfahlgründungen.  
1045, Bestimmungen für die Ausführung von Bauwerken aus Stahlbeton.  
4031, Wasserdruckhaltende Dichtungen aus nackten Teerpappen oder nackten Asphalt-Bitumenpappen für Bauwerke.  
DVM 2129, Tränkmassen für Bitumen-Dachpappen.  
Vornorm 4150, Erschütterungsschutz im Bauwesen.

1) Beuth-Vertrieb, G. m. b. H., Berlin SW 68.

## Sachverzeichnis

- Abdämmen von Erschütterungen 134  
 Abdichtung  
   der Baugrubensohle 59  
   der Grundbauten 112  
   von Spundwänden 34. 46  
 Absenken des Grundwassers 52  
 Abstand von Rammpfählen 97  
 Alcutaband 118  
 Angeschütteter Boden 18  
 Ausschuß für Baugrundforschung 1. 4. 11  
**Baufugen 62. 123. 131**  
 Baugruben  
   im Grundwasser 32  
     Aussteifung 42  
   im offenen Wasser 44  
     Absteifung 44  
     Fangedämme 46  
     Unterwasserarbeitskasten 50  
     Verankerung 45  
   im Trocknen 21  
     abgebösch 21  
     lotrechter Verbau 28  
     Stollenbau 30  
     waagerechter Verbau 22  
     abgesteift 22  
     mit I-Stählen 25. 26  
     verankert 24  
 Baugrund  
   Ausschuß für Baugrundforschung 1. 4. 11  
   Mächtigkeit 3  
   Probebelastung 1. 11  
   Schichtung 3  
   Tragfähigkeit 11. 13. 14  
   Verbesserung der Tragfähigkeit 19  
   Versuchsanstalten 1. 11  
   zulässige Belastung 17  
 Bausohle 62  
 Baustoffschädliche Bestandteile des Bodens und Grundwassers 3. 39. 85. 87. 89. 97. 112. 114. 116  
 Bergbausenkungen 3. 129  
 Betonfangedamm 49  
 Betonrost 105  
 Bewegungsfugen 62. 123  
 Bindiger Boden 2. 3. 5. 6. 8. 13. 15. 17. 18. 38  
 Bitumenmörtel 116  
 Bodenarten 2. 18  
 Bodenprüfer 13  
 Bodenstanze von Ehrenberg 8  
 Bodenuntersuchungen  
   Anordnung 4  
   Aufgaben 1  
   Bodenarten 5  
   Bodenschichtung 3. 4. 5. 13  
   Bohrgeräte 7  
   Dynamische Baugrunduntersuchung 1. 11. 13. 17  
   Erdstoffphysikalische Baugrunduntersuchung 1. 11. 13. 16. 17.  
   Geologische Karten 4  
   Probebohrungen 1. 4  
   Schürfe 1. 4. 6  
   Sondierungen 1  
   Ungestörte Bodenproben 5. 6. 8. 13  
   Vorschriften 4  
 Bodenverdichtung (Einrütteln) 19. 92  
 Bodenverdichtungspfähle 20  
 Bodenverfestigung (Versteinerung) 20. 46. 60. 128  
 Bohrbrunnen 52. 53  
 Bohrergebnisse 5  
 Bohrgeräte 7  
 Bohrfahlverfahren von Burkhardt 8  
 Bohrplan 4  
 Brechtel-Preßbeton-Bohrpfahl 89  
 Brunnengründung 75  
 Brunnenkranz 77  
 Brunnenstaffeln 54  
 Caisson 105  
 Chemische Untersuchung von Baugrund u. Grundwasser 1  
 Contractor-Verfahren 72  
 Dämmstoffe gegen Erschütterungen 136  
 Dampftramme 38  
 Dehnungsfugen 62. 123  
 Dichter Beton 113  
 Dichtungen aus Aluminiumbändern 118  
 Dichtungsaufstriche 113. 114. 119. 123  
 Dichtungsbahnen 113. 114. 116. 120. 123  
 Dichtungsmittel (Betonzusätze) 113  
 Dinormen 138  
 Durchlässigkeitswerte der Bodenarten 57  
 Dreipunktlagerung von Tiefbauten 132  
 Druckluftgründung  
   Senkkastengründung 105  
   Taucherglockengründung 110  
 Dynamische Baugrunduntersuchung 1. 11. 14. 17  
**Einrammen**  
   von Pfählen 83  
   von Spundwänden 35  
 Einrütteln des Bodens 19. 92  
 Einspülen  
   von Pfählen 83. 87  
   von Spundwänden 35  
 Entnahmestutzen nach Casagrande 8  
 Entwässern der Bausohle 2  
 Erdstoffphysikalische Baugrunduntersuchung 1. 11. 13. 16. 17  
 Erschütterungen 17. 19. 133  
 Erschütterungsschutz  
   Erschütterungen durch Maschinenbetrieb 137  
   Verkehrerschütterungen 133

- Explosionsramme 38  
 Expresßpfahl 94
- Fangedämme** 46  
 Fassungsvermögen von  
 Rohrbrunnen 56  
 Faulschlamm 3  
 Feinsand 2. 5. 11. 18. 59  
 Fels 2. 8. 18. 39. 47. 62  
**Fertigpfähle**  
 Holzpfähle 83  
 Stahlbetonrammpfähle  
 85  
 Stahlpfähle 84  
 Filterbrunnen 52. 53  
 Filterrohre 52. 53  
 Filterwiderstandshöhe 57  
**Flachgründungen** 63  
 Grundgewölbe 68  
 Plattengründung 64  
 Sand-, Kies-, Stein-  
 schüttung 68  
 Sockelfundamente 63  
 zwischen Spundwänden  
 69  
 Fluote 113.  
 Förderhöhe von Pumpen  
 51. 54. 57  
 Frankipfahl 93  
 Freifallramme 38  
 Freistehende Pfähle 83. 84  
 Fugenabdichtung 123  
 Fundamentgröße 62
- Gebohrte Ortpfähle** 87  
 Geologische Karten 4  
 Gerammte Ortpfähle 93  
 Getriebezimmerng 30  
 Gezeiten 83. 98. 111  
 Gratspundung 34  
 Greifbagger 59. 78  
 Grün- und Bilfinger-Preß-  
 betonpfahl 89  
 Gründungstiefe 62  
 Grundbalken 64  
 Grundgewölbe 68  
 Grundpfähle 83. 84  
 Grundpfeiler 75  
 Grundplatte 64  
 Grundwasser 1. 3. 5. **32. 52.**  
 75. 76. 78. 112  
 Grundwasserabsenkung 52  
 Gußasphalt 113. 119. 122
- Hamburger Pfahlbock** 101  
 Handzugramme 37  
 Herdplaster 133  
 Hoesch-Stahlrammpfahl 85  
 Hoesch-Stahlpundwand 40  
 Hoher Pfahlrost 95. **99**  
 Hohlpfähle aus Stahlbeton  
 87  
**Holzpfähle**  
 Durchmesser 84  
 Kopf 84  
 Pfahlschuhe 84  
 Rammjungfer 84  
 Spitze 84  
 Holzrost 98. **101**  
 Holzspundwände 33
- Jutegewebe** 116
- Kalkarme Zemente** 112  
 Kalkfels 2. 18  
 Kanaldielen, stählerne 29.  
 30  
 Kastenfangedamm 48  
 Kettensteinwürfe 133  
 Kiesboden 2. 7. 8. 18. 20.  
 35. 44  
 Kiesfilter 53  
 Kiesschüttung 68  
 Klinkerverblendung 113.  
 116. 123  
 Kloeckner-Stahlpund-  
 wand 40  
 Köglersches Seitendruck-  
 gerät 13  
 Körniger Boden 2. 3. 5. 6.  
 11. 14. 16. 17. 18  
 Kreiszellenfangedamm 47  
 Krupp-Stahlrammpfahl 85  
 Krupp-Stahlpundwand 40
- Larsen-Stahlpundwand**  
 40  
 Lehm- und Ton-Ummante-  
 lung 113. 115  
 Löß 3. 11  
 Lorenz-Beton-Bohrpfahl 90  
 Lotrechter Verbau 28  
 Luftschleuse 106
- Mächtigkeit des Baugrun-  
 des** 3  
 Mantelpfahl, geschleuder-  
 ter, säurefester 87
- Mast-Betonrammpfahl** 93  
 Mehlsand 2  
 Michaelis-Mast-Preßbeton-  
 Bohrpfahl 91  
 Moor 3. 7. 11. 18. 68  
 Moorausschuß 5  
 Mutterboden 3. 7
- Nadelramme** 38  
 Naßbetonierung 60. **70. 98**  
 Naturasphalt 118. 122
- Ortspfähle**  
 Brechtel-Preßbeton-  
 Bohrpfahl 89  
 Expresßpfahl 94  
 Frankipfahl 93  
 gebohrte Ortpfähle 87  
 gerammte Ortpfähle 93  
 Grün- und -Bilfinger-  
 Preßbetonpfahl 89  
 Lorenz-Beton-Bohrpfahl  
 90  
 Mast-Betonrammpfahl  
 93  
 Michaelis-Mast-Preß-  
 beton-Bohrpfahl 91  
 Rüttelfußpfahl Keller 92  
 Wolfsholz-Blechhülsen-  
 Preßpfahl 89  
 Wölsholz-Preßbeton-  
 pfahl 88  
 Simplex-Betonpfahl 94  
 Straußpfahl 87
- Peine-Kastenspundwand** 41  
**Pfähle**  
 Abstand 97  
 Betonpfahlrost 97. 105  
 Einspülen 83. 87  
 Fertigpfähle 83  
 Freistehende Pfähle 83.  
 84  
 Gebohrte Ortpfähle 87  
 Gerammte Ortpfähle 93  
 Grundpfähle 83. 84  
 Holzpfähle 83  
 Ortpfähle 83. **87**  
 Pfahlrost, hölzerner 95  
 Probelastung **15. 19**  
 Rammen 83  
 Rammjungfer 84  
 Schleuderbeton-Ramm-  
 pfähle 87

- Schrägpfähle 96. 99. 102  
 Schwimmende Pfahlgründung 83  
 Stahlbetonrammpfähle 86. 97. 99  
 Stahlbetonrost 105  
 Stahlpfähle 84. 97  
 Tragfähigkeit 14. 17. 84. 86  
 Zugpfähle 97. 99. 102. 103  
 Zulässige Belastung 18  
 Pfahlgründung 83  
 Pfahlrost  
 Betonrost 105  
 Hamburger Pfahlbock 101  
 Hoher Pfahlrost 95. 99  
 Holzrost 98. 101  
 Rostpfähle 95. 99  
 Stahlbetonrost 105  
 Tiefer Pfahlrost 95. 97  
 Pfahlzieher 41  
 Plattengründung 64  
 Probebelastung des Baugrundes 1. 11 von Pfählen 14. 19  
 Probebohrungen  
 Bohrergebnisse 5  
 Bohrgeräte 7  
 Bohrgestänge 9  
 Bohrgestänge 9  
 Bohrplan 4  
 Bohrrohre 10. 52  
 Bohrschelle 10  
 Bohrschuh 10  
 Bohrtiefe 4  
 Fanggeräte 9  
 Proportionalitätsgrenze des belasteten Bodens 11  
 Pumpen  
 Dia-Pumpe 51  
 Kreiselpumpe 51  
 Pumpenleistung 57  
 Saughöhe 51. 54. 57  
 Pumpenleistung 57  
 Pumpensumpf 50. 51  
 Putz, widerstandsfähiger 113. 115  
 Puzzolane 112  
 Quadratspundung 34  
**Rammen**  
 Dampftramme 38  
 Explosionsramme 38  
 Freifallramme 38  
 Handzugramme 37  
 Nadelramme 38  
 Rammhammer 38  
 Rammformel 17  
 Rammhauben 40. 41  
 Rammhammer 38  
 Rammjungfer 84  
 Rammliste 16. 17  
 Rohrbrunnen 52. 53  
 Rohrklemme 10  
 Rütteldruckverfahren 19  
 Rüttelfußpfahl Keller 92  
 Sandboden 2. 7. 8. 11. 18. 19. 20. 35. 44  
 Sandschüttung 68  
 Saughöhe 51. 54. 57  
 Saugleitung 53  
 Saugrohre 53  
 Schallkies 136  
 Schichtenverzeichnis 5  
 Schichtung des Baugrundes 3  
 Schleuderbetonrammpfahl 87. 97  
 Schlick 3  
 Schluff 2. 5. 11  
 Schrägpfähle 96. 99. 102  
 Schrägsteifen 23. 44  
 Schriftumsverzeichnis 138  
 Schürfe 1. 4. 6  
 Schurzholzrahmen 32  
 Schutz und Abdichtung der Grundbauten  
 Bauliche Ausführung 119  
 Schutzschichtbildung 114  
 Übersicht der Verfahren 112  
 Ummantelung 115  
 Schutzschicht bei Dichtungen 118. 119. 120. 121. 122  
 Schutzschichtbildung durch Chemikalien und Aufstriche 113. 114  
 Schwimmende Pfahlgründung 83  
 Schwimmkastengründung 111  
 Schwimmsand 2. 35. 50  
 Schwingungsdämpfer 137  
 Segmentzellenfangedamm 47  
 Senkbrunnen  
 Abstand 76  
 aus Beton- und Stahlbetonringen 78  
 Ausfüllung 79  
 aus Mauerwerk und Beton 77  
 aus Stahl 78  
 Bauart 77  
 Brunnenkranz 77  
 Form 76  
 Größe 76  
 Verbindung 79  
 Versenkung 78  
 Senkfashinen 133  
 Senkkasten 105. 109  
 Senkkastengründung  
 Absenken 108  
 Ausfüllen des Senkkastens 110  
 Bodenförderung 109  
 Druckluft 106  
 Einschwimmen 109  
 Förderhosen 106  
 Luftschleuse 106  
 Schachtrohr 105  
 Schiefstellen 109  
 Schrägabsenken 109  
 Senkkasten 105. 109  
 Überdruck 108  
 Verordnung für Arbeiten in Druckluft 106  
 Sicherung  
 durch Bodenverfestigung 128  
 durch neue Flachgründung 124  
 durch Steinschüttung 132  
 durch neue Tiefgründung 126  
 Sicherung von gefährdeten Bauten  
 Durch Baugruben gefährdete Bauten 124  
 Durch Bergbausenken gefährdete Bauten 130  
 Durch Erschütterungen gefährdete Bauten 133

- Durch Unterspülung gefährdete Bauten 132
- Sickerwasser 2. 3
- Silikate 113
- Simplex-Betonpfahl 94
- Sinkstücke 133
- Skelettbau 131
- Sockelfundamente 63
- Sondierungen 1
- Spachtelmassen 113. 114. 118. 121
- Spindelschuhe für Holzsteifen 23. 29. 30
- Spindelspreizen, stählerne 23
- Spundwände
- Absteifen 45
  - Aussteifen 42
  - Dichten 34. 46
  - Einrammen 35
  - Einspülen 35
  - Holme 33
  - Holzspundwände 33
  - Länge 32
  - Pfahlzieher 41
  - Rammhauben 40. 41
  - Stärke 33
  - Stahlbetonspundwände 39
  - Stahlspundwände 40
  - Stülpwände 33
  - Unterwasserschneidbrenner 41
  - Verankern 44. 45
  - Zangen 33
  - Ziehen 34
- Spundwandgründungen unter Wasserhaltung 69
- Unterwasserbeton
- Unterwassergußbeton 72
  - Unterwasserschüttbeton 70
- Stahlbetonrammpfähle
- Schleuderbetonrammpfähle 87
  - säurefester Mantelpfahl 87
  - Stahlbetonrammpfähle 85. 97. 99
- Stahlbetonpfahlrost 105
- Stahlbetonroste 64
- Stahlbetonspundwände 39
- Stahlpfähle
- Stahlrammpfähle 84. 97
  - Stahlschraubpfähle 85
- Stahlspundwände 40
- Steinschüttung
- als Gründung 68
  - als Sicherung 132
- Stollenbau 30
- Straußpfahl 87
- Stülpwände 33
- Taucherarbeiten 61
- Taucherglocke 110
- Tauchpumpen 54
- Tidebetrieb 99
- Tidegebiet 83. 98. 99. 102
- Tiefer Pfahlrost 95. 97
- Tiefgründungen 75
- Tonboden 2. 5. 7. 11. 18
- Torf 3. 18
- Traß 112
- Treibladen 124
- Ummantelung des Bauwerks 113. 114. 115
- Ungestörte Bodenproben 5. 6. 8. 13
- Unterfangen von Bauten 124
- Untergrundbahnbaugrube 26
- Untergrundbahnfunnel 120. 135
- Unterspülung 132
- Untersuchung des Baugrundes 1. 4. 11. 13. 16. 17
- Untersuchungsanstalten
- chemische 5
  - erdstoffphysikalische 1
- Unterwasserarbeitskasten 50
- Unterwasserbeton 60. 70
- Unterwassergußbeton 72
- Unterwasserschneidbrenner 41
- Unterwasserschüttbeton 70
- Verankerung
- von Baugrubenwänden 24
  - von Spundwänden 44. 45
- Verdichten des Baugrundes 19. 20. 92
- Verkehrerschütterungen 133
- Verordnung für Arbeiten in Druckluft 106
- Vorsatzbeton 113. 115
- Waagerechter Verbau 22
- Wasserabweisende Betonzusätze 112
- Wasserabweisende Zementzusätze 112
- Wasserglas 113
- Wasserhaltung
- Grundwasserabsenkung 52
  - Ausführen 52
  - Berechnen 55
  - Bohrbrunnen 52. 53
  - Durchlässigkeitswerte 57
  - Brunnenstafeln 54
  - Filterrohre 52. 53
  - Filterwiderstandshöhe 57
  - Pumpenleistung 57
  - Rohrbrunnen 52. 53
  - Saugleitung 53
  - Saugrohre 53
  - Tauchpumpen 54
  - Vorentwurf 54
- Offene Wasserhaltung 50
- Pumpen 51
  - Pumpensumpf 50. 51
  - Saughöhe 51. 54. 57
- Wellenbrücke 134
- Wolfsholz-Blechkülsen-Preßpfahl 89
- Wolfsholz-Preßbetonpfahl 88
- Wollfilzpappe 116. 118
- Wollfilzpappe mit Bleifolie 118
- Wuchtebaum 10
- Zellenfangedamm 47
- Ziehen
- von Pfählen 83
  - von Spundwänden 34
- Zugpfähle 97. 99. 102. 103
- Zulässige Belastung des Baugrundes 17. 130
- von Pfählen 18

