

Indefs werden bei manchen Bauten am und im offenen Wasser, wie z. B. bei Badehäusern, Schwimm-Anstalten, *Promenade-Piers*, Leuchttürmen, Landungsbrücken etc. auch eiserne Pfähle angewendet, welche in der Regel in den Boden eingeschraubt, feltener eingetrieben werden.

430.
Gründung
auf eisernen
Pfählen.

Im vorliegenden Falle sind es meist geschmiedete Eisenstangen von 10 bis 15 cm (selten mehr) Durchmesser, welche unten mit einer sog. Pfahlschraube (Fig. 688) versehen sind; die letztere ist aus Gusseisen hergestellt, hat etwa 1 m Durchmesser und dient nicht nur zum Eindrehen der Pfähle in den Boden, sondern giebt denselben auch eine grössere Basis, wodurch sie der Belastung besser widerstehen. Die Tragfähigkeit derartiger Schraubenpfähle kann zu 45 kg für 1 qcm Pfahlkopffläche oder zu 12 kg zu 1 qcm Stützfläche angenommen werden. Noch feltener kommen bei den im Gebiete der Architektur in Betracht zu ziehenden Bauwerken gusseiserne Röhrenpfähle (Fig. 689) zur Verwendung.

Von den Gründungen auf eisernen Pfählen¹⁹⁸⁾ wird, in Rücksicht auf die geringe Anwendung derselben im Hochbauwesen, im Folgenden weiter nicht die Rede sein.

1. Kapitel.

Pfahlroft-Fundamente.

Den wesentlichsten Constructionstheil eines Pfahlroft-Fundamentes bilden die hölzernen Pfähle, welche ähnlich wie Säulen oder andere Freistützen den betreffenden Baukörper zu tragen haben. Diese Pfähle ragen entweder gar nicht, bzw. nur mit einem sehr geringen Theile ihrer Länge aus dem Boden hervor, sind also Grundpfähle, und der Pfahlroft wird tief liegend genannt; oder es tritt ein bedeutender Theil der Pfahllänge über dem Boden hervor, es sind demnach Langpfähle vorhanden, und man hat es mit einem hoch liegenden Pfahlroft oder einem Stelzen-Fundament zu thun. (Siehe auch Art. 149, S. 107.)

431.
Allgemeines.

Im Hochbauwesen kommen fast nur tief liegende Pfahlrofte vor, und es werden im Folgenden auch nur diese eine eingehende Besprechung erfahren.

Die tief liegenden Pfahlrofte werden in der Regel innerhalb einer wasserfreien Baugrube hergestellt, während die hoch liegenden für Gründungen im offenen Wasser Anwendung finden, wobei die Herstellung und Trockenlegung der Baugrube meistens entfällt.

Auf die Pfähle, welche in gleicher Höhe abgeschnitten werden, hat man bisweilen unmittelbar das Mauerwerk gesetzt; indess ist dies nur zulässig, wenn die Pfähle sehr nahe an einander stehen, wenn für die untersten Mauerschichten große Steine oder Platten zur Verwendung kommen und wenn die Belastung eine geringe ist. Liegen andere Bedingungen vor, so treten im Mauerkörper ungleichmäßige Senkungen ein, welche schädliche Trennungen darin hervorrufen. In den allermeisten Fällen ist deshalb noch eine Zwischen-Construction oder Rostdecke erforderlich, die entweder durch einen liegenden Rost oder durch einen Betonkörper gebildet wird. Die erstere Anordnung ist die im Hochbauwesen gewöhnlich vorkommende; Beton-Pfahlrofte haben im Hochbauwesen bisher nur eine beschränkte Anwendung gefunden.

¹⁹⁸⁾ Aus der Literatur über eiserne Schraubenpfähle seien hervorgehoben:

HEINZERLING, F. Die Brücken in Eisen. Leipzig 1870. S. 393.

MORANDIÈRE, R. *Traité de la construction des ponts et viaducs. 1er fasc.* Paris 1874. S. 141.

KLASEN, L. Handbuch der Fundirungs-Methoden. Leipzig 1879. S. 120.

Handbuch der Ingenieurwissenschaften. 1. Band. Herausgegeben von E. HEUSINGER v. WALDEGG. 2. Aufl. Leipzig 1884. S. 330.

a) Roftpfähle.

432.
Wirksamkeit
der
Pfähle.

Für die Roftpfähle ist vor Allem das in Abth. I, Abchn. 2, Kap. 2, b (Art. 149 bis 153, S. 107 bis 109) über Pfähle Gefagte maßgebend; an dieser Stelle mögen noch die folgenden Betrachtungen Platz finden.

1) Die Pfähle können den betreffenden Baukörper in zweifacher Weise tragen. Entweder stehen sie mit ihrer Spitze auf, bezw. zum Theile in der festen, tragfähigen Bodenschicht, übertragen sonach den aufgenommenen Druck unmittelbar auf die letztere. Oder sie erhalten in der lockeren Bodenschicht die erforderliche Standfestigkeit im Wesentlichen nur durch die Reibung zwischen der Pfahloberfläche und dem sie umgebenden Bodenmaterial¹⁹⁹⁾.

Dem in Art. 362 (S. 249) aufgestellten Grundsatze entsprechend, wird die erstgedachte Anordnung der letztangeführten stets vorzuziehen sein; die erstere ist dann mit der im vorhergehenden Abschnitt (Kap. 2, b, 1) vorgeführten Pfeilergründung sehr nahe verwandt, wird auch bisweilen mit derselben vereinigt. Bei größerer Mächtigkeit der lockeren Bodenschicht kann sich indess eine so bedeutende Pfahllänge ergeben, daß die Fundirung viel zu theuer zu stehen käme, wollte man die Pfähle bis auf die tragfähige Schicht einrammen; ja die letztere kann unter Umständen mittels Pfählen gar nicht erreichbar sein.

433-
Richtung
der
Pfähle.

2) Die Pfähle werden auf Knickfestigkeit beansprucht; deshalb ist es am vortheilhaftesten, wenn die Axe der Pfähle in der Richtung des auf sie wirkenden Druckes gelegen ist. Da nun bei den meisten Hochbauten im Wesentlichen nur lothrechte

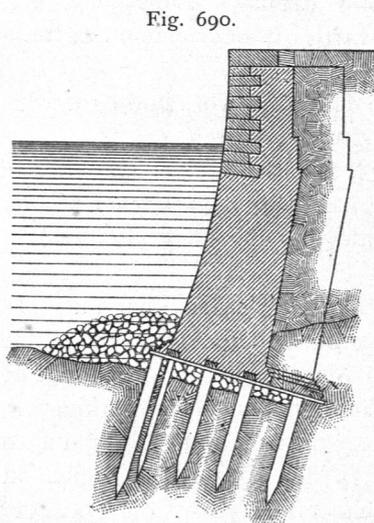


Fig. 690.

Vom Verbindungs-Dock zu Hull.

$\frac{1}{200}$ n. Gr.

Drücke vorkommen, so werden die Pfähle in der Regel lothrecht in den Boden eingetrieben. Indess wird es bei Widerlagern weit gespannter und flacher Gewölbe, bei Stützmauern, bei Freistützen, welche Dach-Constructionen zu tragen haben, überhaupt bei Bautheilen, die einen starken Seitenschub erfahren, vorzuziehen sein, die Pfähle in die Richtung des herrschenden Druckes zu stellen (Fig. 690).

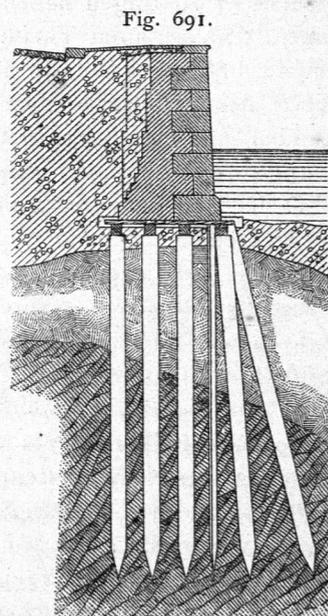


Fig. 691.

Reefendamm-Quai-Mauer in

Hamburg. — $\frac{1}{200}$ n. Gr.

¹⁹⁹⁾ Wenn man diese Reibung in Rechnung ziehen will, ist zu beachten, daß sie meist im Anfang (unmittelbar nach dem Einrammen der Pfähle) größer ist und später etwas abnimmt. In Folge der Zusammenpressung, welche der Boden beim Einschlagen der Pfähle erfährt, ist die Reibung zunächst ziemlich bedeutend; indess ist dieses Maß nur bei sandigem und ähnlichem Boden von Dauer. Bei anderem Material pflanzt sich der Druck allmählich nach außen fort, wodurch nach und nach ein Ausgleich in den Druckverhältnissen der betreffenden Bodenschicht eintritt, sonach die Reibung zwischen Pfählen und Erde vermindert wird. Das Schlagen einer Spundwand kann innerhalb gewisser Grenzen einem solchen Ausgleich entgegenwirken; allein bei besonders lockerem Boden kann auch eine solche Wand in schädlicher Weise beeinflusst werden; es kann ein Schiefstellen derselben eintreten.

Bisweilen genügt es, nur eine oder nur einige Pfahlreihen schräg zu stellen, die übrigen aber lothrecht anzuordnen (Fig. 691). In manchen Fällen ist der Seitenschub veränderlich, nicht nur was seine GröÙe und Richtung betrifft, sondern auch in dem Sinne, daß er bald von der einen, bald von der anderen Seite wirksam sein kann. Bei Mittelstützen größerer Gewölb-Constructionen, bei denen die Belastung veränderlich ist, bei den Stützen größerer Decken und Dächer etc. kann dieser Fall eintreten. Alsdann werden einzelne Pfähle, bezw. Pfahlreihen gleichfalls schräg gestellt, jedoch nach verschiedenen Richtungen derart, daß den am häufigsten vorkommenden Druckverhältnissen in geeigneter Weise entgegengewirkt wird (Fig. 692).

3) Die Länge der Rostpfähle läßt sich dann in sehr einfacher Weise bestimmen, wenn die Pfahlpitzen auf der tragfähigen Bodenschicht stehen sollen. Die Tiefenlage der letzteren, die man durch geeignete Bodenuntersuchungen (vergl. Art. 333, S. 237) fest stellen muß, ist für die Pfahllänge maßgebend.

Dagegen stößt die Ermittlung der richtigen Pfahllänge häufig auf große Schwierigkeiten, wenn die Pfähle die erforderliche Standfestigkeit nur mittels Reibung in der lockeren Bodenschicht erhalten. Handelt es sich um eingerammte Pfähle, so kann man die von *Eytelwein*, *Redtenbacher*²⁰⁰⁾, *Weisbach*²⁰¹⁾ etc. aufgestellten Ramm-Theorien benutzen.

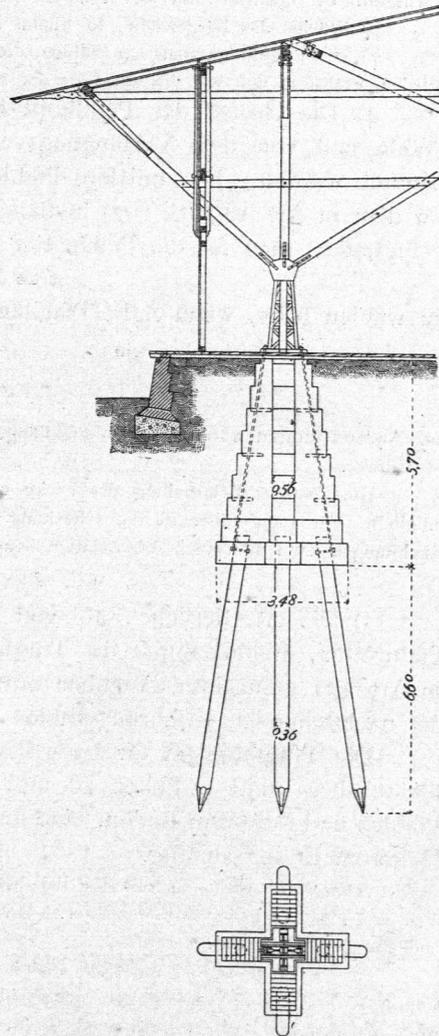
Die Ramm-Theorien haben die Aufgabe, eine Beziehung zwischen der Stosswirkung, die eine Ramme auf den einzutreibenden Pfahl ausübt, und der ruhenden Last, die er mit Sicherheit zu tragen im Stande ist, aufzustellen. Die gedachte Stosswirkung läßt sich nach jeder Hütze (von etwa 20 unmittelbar auf einander folgenden Schlägen) in so fern unmittelbar ermitteln, als man das Eindringen des Pfahles jedesmal messen kann. Je geringer dieses Eindringen in der letzten Hütze war, desto größer wird im Allgemeinen die Tragfähigkeit des Pfahles sein. In solchen Theorien spielen deshalb die GröÙen: Gewicht des Pfahles, Gewicht des Rammbaren, Fallhöhe des letzteren und Tiefe des Eindringens die Hauptrolle.

Die meisten Ramm-Theorien geben nur wenig zuverlässige Resultate, da sie auf die Beschaffenheit der betreffenden Bodenschicht keine genügende Rücksicht nehmen. Für Rostpfähle, die in anderer Weise, z. B. durch Wasserspülung, in den Boden getrieben werden, fehlen theoretische Anhaltspunkte gänzlich.

Da auch die empirischen Formeln, die von verschiedenen Autoren angegeben worden sind, unbrauchbar sind, so ist man in den häufigsten Fällen darauf angewiesen, die notwendige Pfahllänge durch Versuche zu ermitteln. Man treibt Probepfähle von verschiedener

434.
Länge
der
Pfähle.

Fig. 692



Vom Quai-Schuppen am Grasbrookhafen
zu Hamburg. — $\frac{1}{200}$ n. Gr.

²⁰⁰⁾ REDTENBACHER, F. Principien der Mechanik und des Maschinenbaues. Mannheim 1852. S. 102.

²⁰¹⁾ WEISBACH, J. Lehrbuch der Ingenieur- und Maschinen-Mechanik. I. Theil. 5. Aufl. Bearbeitet von G. HERRMANN. Braunschweig 1874. S. 824.

Länge und nach verschiedenen Ramm-Methoden ein, bringt alsdann todte Lasten auf und beobachtet sorgfältig das Verhalten der Pfähle. Bei kleineren Bauwerken sind solche Versuche allerdings zu umständlich und kostspielig, und man fust häufig auf sonstigen Erfahrungsergebnissen, namentlich auf solchen, die unter ähnlichen Verhältnissen gewonnen wurden.

In Frankreich nimmt man an, dass in mittelfestem Boden ein Pfahl, der eine dauernde Belastung von 25 t tragen soll, in der letzten Hitze höchstens 10 mm tief eindringen dürfe. — In Holland wird bei Belastungen von 5 bis 10 t die zulässige Eindringungstiefe bis zu 10 cm angenommen. — Im Sand- und Kiesboden der Rheinebene (Heffens und Badens) darf ein Pfahl, wenn er eine Last von 20 t mit Sicherheit tragen soll, in der letzten Hitze höchstens 4 bis 10 mm einsinken.

Alpine glaubt aus seinen Rammversuchen folgende Regeln gefunden zu haben:

α) Wächst die Fallhöhe des Rammhämern, so nimmt die Tragfähigkeit des eingerammten Pfahles im Verhältniss der Quadratwurzel der Fallhöhe zu.

β) Wächst das Bärge wicht, so nimmt die Tragfähigkeit um ca. 0,8 des vermehrten Gewichtes zu.

γ) Die Tragfähigkeiten von Pfählen, die mit gleichem Bärge wicht bei gleicher Fallhöhe eingerammt wurden, verhalten sich wie die Quadrate der Reibungsflächen der Pfähle.

4) Die Grösse der Pfahlkopf-Fläche hängt ab von der mittleren Dicke der Pfähle und von dem Verjüngungsverhältniss der Baumstämme, die zu den Pfählen benutzt wurden. Die mittlere Pfahldicke ist wieder abhängig von der Pfahlänge. Zu dem in Art. 149 (S. 107) in dieser Richtung bereits Gefagten sei hier noch hinzugefügt, dass man für die Pfähle tief liegender Roste einen mittleren Durchmesser

$$d = 12 + 3 l \text{ Centim.}$$

zu wählen habe, wenn l die Pfahlänge (in Met.) bezeichnet.

Prudhomme giebt allgemein

$$d = \frac{l}{24} \text{ Centim.}$$

an. Andere Autoren wählen bis 5 m Pfahlänge 25 cm Pfahldicke, für jeden Meter Mehrlänge 10 bis 15 mm Mehrdicke.

Die statische Ermittlung der Dicke von Grundpfählen ist mit Hilfe der Gleichung 26. (S. 107) möglich. Für Langpfähle ist die Gleichung 27. (S. 108) in Anwendung zu bringen; für annähernde Rechnungen kann man auch die Relation benutzen:

$$d = 15 + 2,75 l \text{ Centim.}$$

5) Die erforderliche Zahl von Rostpfählen ist gleich der Gesamtbelastung des Pfahlrostes, dividirt durch die Tragfähigkeit eines Pfahles. Letztere muss nach den in Art. 434 gemachten Angaben ermittelt werden; als weitere Anhaltspunkte mögen die nachstehenden Erfahrungszahlen dienen.

Die Tragfähigkeit für 1 qm Pfahlkopf-Fläche schwankt zwischen 15 und 45 kg, bleibt aber meist zwischen 20 und 40 kg; eine Belastung von 20 kg ist bei langen Pfählen und lockerem Boden, eine Belastung von 40 kg bei kurzen Pfählen und weniger lockerem Boden zulässig.

Heinzerling giebt als zulässige Belastung für 1 qm Nutzfläche des Pfahlrostes an: bei Moorboden 0,8 bis 1,2 kg, bei besserem Bodenmaterial 3 bis 5 kg, bei festerem durch Pfähle gedichteten Lehm-, Thon- und Sandboden bis 7 kg.

Ist die Tragfähigkeit für 1 qm Pfahlkopf-Fläche k (in Kilogr.) und misst die letztere f (in Quadr.-Centim.), so ist die Tragfähigkeit des Pfahles $k f$ Kilogr. Beträgt der Druck, den das künftige Bauwerk auf den Pfahlrost ausüben wird, D (in Tonnen), so ist die erforderliche Zahl n der Pfähle

$$n = \frac{1000 D}{k f}.$$

6) Die Vertheilung der Pfähle im Grundriss soll derart geschehen, dass jeder Pfahl eine gleich grosse Belastung erfährt und dass an jede Ecke ein Pfahl zu stehen kommt. Bei regelmässiger (rechteckiger) Grundrissform lässt sich diese Bedingung

435-
Dicke
der
Pfähle.

436-
Zahl der
Pfähle.

437-
Tragfähigkeit
der
Pfähle.

438-
Anordnung
der
Pfähle.

am einfachsten dadurch erfüllen, daß man die Pfähle reihenweise schlägt (Fig. 693 u. 694). Die einzelnen Pfahlreihen erhalten alsdann einen Abstand von 0,70 bis 1,25 m, meist zwischen 0,80 und 1,20 m. Die Pfähle einer Reihe sind etwas weiter von einander entfernt, so daß der Abstand ca. um $\frac{1}{6}$ größer ist; man findet 0,90 bis 1,80 m, doch ist 1,00 bis 1,50 m Abstand zu empfehlen. Die statische Berechnung, welche auf Grundlage der in Art. 434 bis 438 gemachten Angaben anzustellen ist, muß für die Wahl des Pfahlabstandes maßgebend sein.

Soll die Rostdecke aus Lang- und Querschwellen gebildet werden, so muß unter jedem Kreuzungspunkte der beiden Schwellenlagen ein Pfahl gelegen sein; hierdurch ergibt sich die netzförmige, in Fig. 693, 696 u. 697 dargestellte Anordnung.

Wenn jedoch die Pfähle einen Betonkörper oder das Mauerwerk direct zu tragen bekommen, empfiehlt es sich, die Pfähle in den einzelnen Pfahlreihen gegen einander zu versetzen (Fig. 694). Die äußerste Pfahlreihe *a* wird ziemlich häufig bündig mit dem Haupt des darüber stehenden Mauerwerkes gelegt; nur den Bohlenbelag läßt man bisweilen etwas vortreten (Fig. 695). Diese Anordnung ist unrichtig, weil alsdann die äußeren Pfahlreihen weniger zu tragen haben, wie die zwischenliegenden, daher leicht ungleichmäßige Setzungen eintreten können. Deshalb müssen entweder die äußeren Pfahlreihen etwas (um ca. 20 bis 30 cm) nach innen gerückt werden (Fig. 696), oder sie sind so weit nach außen zu schieben, daß die ihnen zunächst gelegenen Pfahlreihen eben so belastet sind, wie die zwischen den letzteren befindlichen (Fig. 697). Die zweitgedachte Anordnung ist die kostspieligere und empfiehlt sich nur für große Belastungen.

Fig. 693.

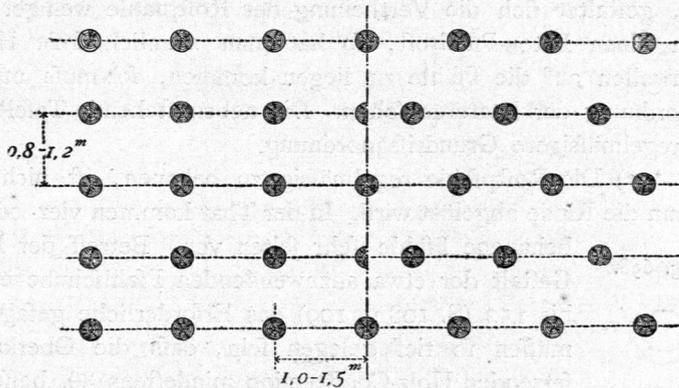


Fig. 694.

Fig. 696.

Fig. 697.

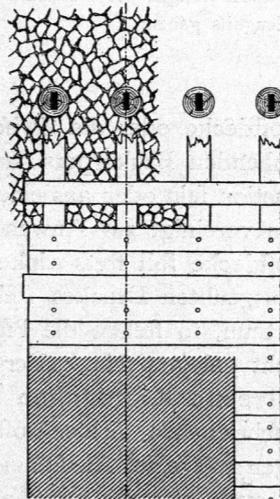
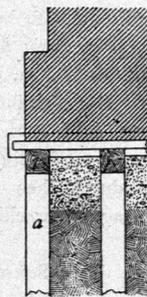
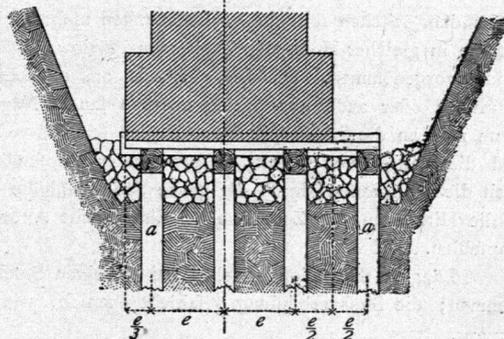


Fig. 695.



1/100 n. Gr.



Bei Fundirung von Bauwerken, deren Grundrifs weniger regelmäfsig geformt ist, gestaltet sich die Vertheilung der Rostpfähle weniger einfach. Handelt es sich um einen Beton-Pfahlrost, so hat man ziemlich freie Hand; wenn jedoch Holzschwellen auf die Pfähle zu liegen kommen, so mufs man auf thunlichste Reihenanzordnung der letzteren sehen. Die neben stehende Tafel giebt ein Beispiel für eine unregelmäfsigere Grundrifsanzordnung.

439.
Pfähle.

7) Die Rostpfähle regelmäfsig zu behauen, ist nicht nothwendig; es genügt, wenn die Rinde abgelöst wird. In der That kommen vier- oder gar achteckig (Fig. 698) behauene Pfähle sehr selten vor. Betreff der Form der Pfahlspitze, der Gestalt der etwa anzuwendenden Pfahlschuhe etc. ist bereits in Art. 150 bis 152 (S. 108 u. 109) das Erforderliche gefagt worden. Die Pfahlköpfe müssen so tief gelegen sein, dafs die Oberkante der etwa darauf zu setzenden Holz-Construction mindestens 30, besser 50 cm unter den niedrigsten Wasserstand zu liegen kommt.

Fig. 698.



Von der
neuen
Morgue
in
Paris 202).
1/50 n. Gr.

Wie schon in Art. 366 (S. 257) bemerkt wurde, ist hierbei auf eine möglicher Weise später eintretende Senkung des Grundwasserspiegels Rücksicht zu nehmen. In Hamburg hat man bei den um die Zeit nach dem grossen Brande ausgeführten Häusern diese Regel nicht befolgt. Bei den meisten Neubauten pflegte man etwa 60 cm unter der Kellerfohle den Boden auszuheben und, wenn sich kein tragfähiger Baugrund vorfand, ohne Weiteres einen Pfahlrost auszuführen. Die Folgen dieses Verfahrens haben sich nach Senkung des Grundwasserstandes in Folge des Sielbaues in übelster Weise geltend gemacht, wovon die kostspieligen Unterfahrungen der Fundamente vieler Häuser auf der ehemaligen Brandstätte ein deutliches Zeugnis geben.

b) Rostdecke.

Die Rostdecke oder die Zwischen-Construction, welche die Last des auf dem Pfahlroste ruhenden Baukörpers aufnimmt und auf die Pfähle überträgt, kann eine Holz-Construction sein oder aus einem Betonkörper bestehen; bisweilen kommen beide Anordnungen vereinigt zur Anwendung.

Die Rostdecke soll stets winkelrecht zur Richtung des vom darauf zu setzenden Baukörper ausgeübten Druckes stehen. Hat man es hauptsächlich mit lothrechten Drücken zu thun, so stehen die Pfähle nach Früherem lothrecht, und die Rostdecke mufs wagrecht gelegen sein. (Vergl. auch Fig. 690, S. 306.)

1) Hölzerne Rostdecken sind in ihrer Construction mit den in Art. 423 (S. 299) beschriebenen Schwellrosten sehr nahe verwandt. Zwei sich kreuzende Schwellenlagen mit einer Ausfüllung der Rostfache, so wie ein aufgebrachter Bohlenbelag bilden auch hier die gewöhnliche Anordnung (Fig. 696 u. 697).

440.
Hölzerne
Rostdecken.

Die einer Pfahlreihe angehörigen Pfähle werden meist durch Langschwellen oder Holme mit einander verbunden. Stehen seitliche Verschiebungen nicht zu befürchten, so kann man diese Schwellen nur stumpf auf die in gleicher Höhe abgesechnittenen Pfähle aufsetzen (Fig. 697); meistens wird indess eine Verbindung beider vorgenommen. Diefelbe geschieht am einfachsten mittels ca. 40 cm langer und 3 cm dicker Holzschrauben oder auch nur mittels eben so langer Nägel. Die Verbindung wird am widerstandsfähigsten, wenn man an die Pfahlköpfe kurze Zapfen (ca. 15 cm lang, 6 bis 8 cm breit, 8 bis 12 cm hoch) anschneidet und die Langschwellen mit entsprechenden Zapfenlöchern verzieht (Fig. 699 u. 700). Man läßt wohl auch die Pfahlzapfen durch die ganze Schwellenhöhe hindurchgehen und treibt alsdann von oben Keile in die Hirnenden der Zapfen ein. Eine solche Anordnung ist zwecklos und kostspielig, daher nicht zu empfehlen.

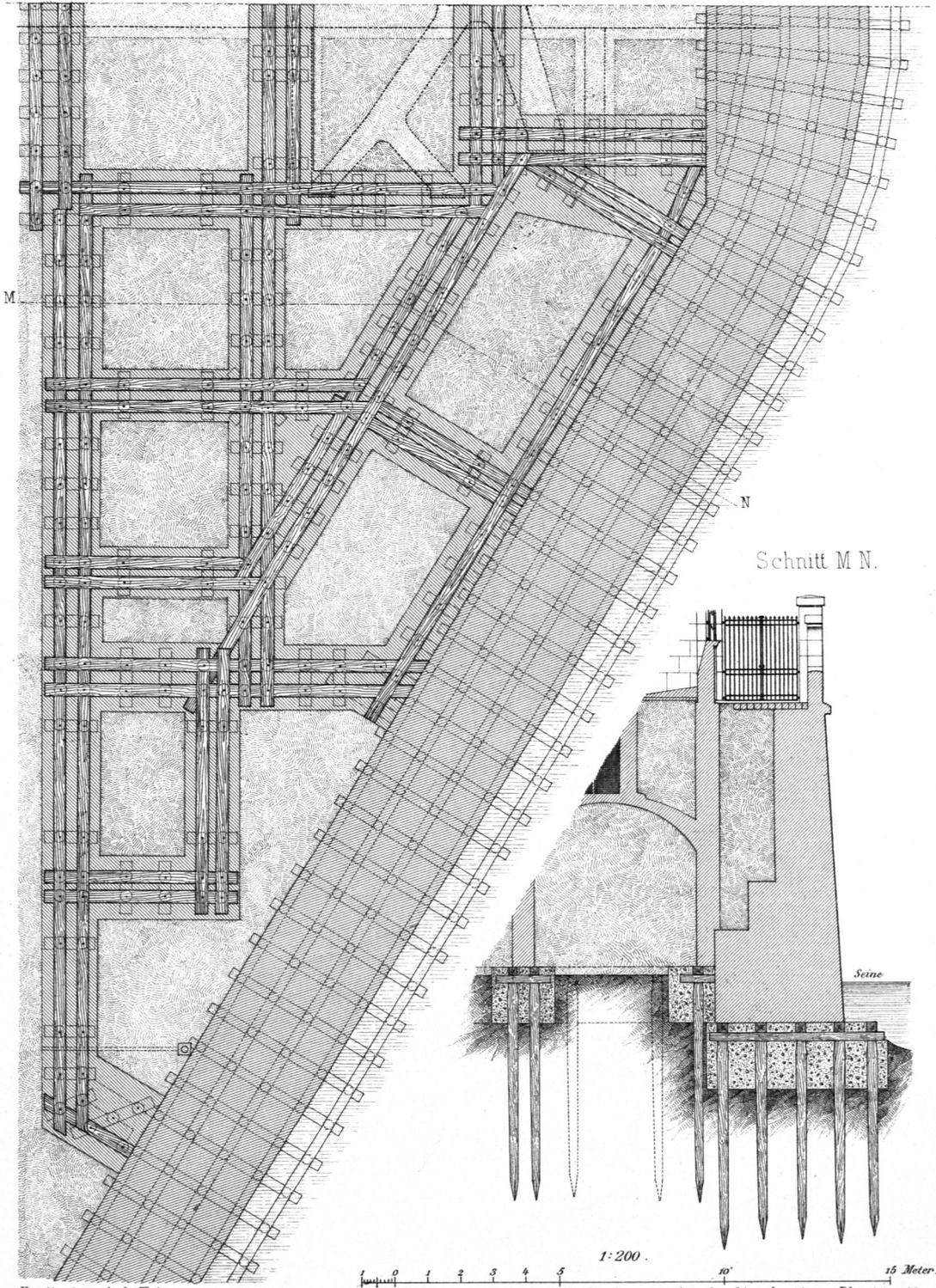
441.
Lang- und
Querschwellen.

Längere Schwellen bestehen aus einzelnen Stücken, deren Stöße jedesmal auf einen Pfahl zu liegen kommen; die Stofsverbindung geschieht eben so, wie bereits in Art. 424 (S. 300) für die Schwellroste

202) Nach: *Revue gén. de l'arch.* 1864, Pl. 39.

NEUE MORGUE IN PARIS.

Fundamentplan. (Südliche Hälfte).



Schnitt M N.

Seine

1:200.

0 1 2 3 4 5 10 15 Meter.

Fig. 699.

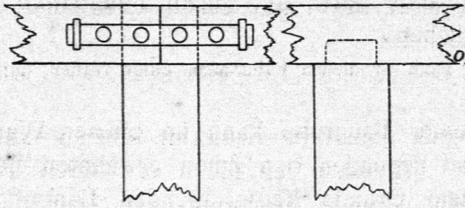
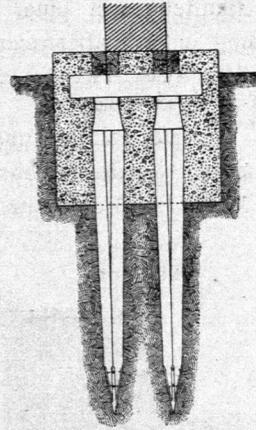


Fig. 700.

 $\frac{1}{85}$ n. Gr.

Fig. 701.



Von der neuen *Morgue*
in Paris 202). — $\frac{1}{50}$ n. Gr.

angegeben wurde; bei stumpfen Stößen (Fig. 699) werden die Zapfen am besten in der vollen Breite der Pfähle angefnitten, damit die beiden Schwellenenden ficher gefaft werden.

Die Querschwellen oder Zangen, welche in transversalem Sinne auf die Langschwellen zu liegen kommen, werden entweder blofs mittels eiferner, 40 bis 45 cm langer Nägel (Fig. 701), bezw. Holzschrauben auf letzteren befestigt oder auf die Langschwellen aufgekämmt. Wenn indess, wie dies bei den meisten Hochbauten der Fall ist, die Langschwellen die wichtigere Rolle spielen, so werden diese gar nicht ausgefnitten, sondern nur die Querschwellen.

Bei Hochbauten liegen die Langschwellen gewöhnlich zu unterst, und es ist eine solche Anordnung, durch die eine Längsverankerung der ganzen Fundament-Construction erzielt wird, ganz entsprechend. Wenn indess starke Seitenschübe wirksam sind, wie bei Widerlagern von grösseren Gewölben, bei Stützmauern etc., wenn in Folge dieser ein Ausweichen der Pfähle in der Querrichtung des Mauerwerkes zu befürchten wäre, ist es vorzuziehen, die Querschwellen unmittelbar auf die Pfähle aufzuzapfen und die Langschwellen erst auf diese zu legen.

Man hat in letzterem Falle wohl auch das unmittelbare Aufsetzen der Langschwellen auf die Pfahlköpfe beibehalten, jedoch die Rostzangen unter die letzteren gelegt; sie wurden doppelt (aus Halbhölzern) angeordnet, so dafs die in einer Querreihe gelegenen Pfähle zwischen je zwei Halbzangen gefaft und damit verbolzt wurden.

Die Bettung oder die Ausfüllung der Rostfache, welche auch hier aus Sand, Mauerfchutt, Steinpackung, Trockenmauerwerk, selbst aus Mörtelmauerwerk und aus Beton besteht, reicht bei Pfahlrosten meist ziemlich tief (50 cm und darüber) unter die untere Schwellenlage hinab, was zum Theile mit der Ausführung zusammenhängt.

442.
Bettung.

Für die letztere wird bei Hochbauten fast stets die Ausschachtung einer Baugrube erforderlich; die Tiefe derselben hängt zum Theile von der Tiefenlage der unterirdischen Räume und anderen örtlichen Verhältnissen ab; doch mufs sie jedenfalls so groß sein, damit die Oberkante der Holz-Construction tief genug unter den niedrigsten Grundwasserspiegel zu liegen kommt.

443.
Ausführung.

Nachdem die Pfähle eingerammt worden sind, wird zwischen denselben das Bodenmaterial auf eine Tiefe von 30 bis 50 cm, bisweilen auf eine noch grössere Tiefe ausgehoben; hierdurch wird das Abschneiden der Pfähle in gleicher Höhe, erforderlichen Falles das Anfchneiden der Zapfen erleichtert.

Bei letzteren Arbeiten mufs Wasserfchöpfen stattfinden; man kann jedoch das Grundwasser benutzen, wenn die Pfähle in gleicher wagrechter Ebene abzuschneiden sind. Man läßt in die Anfangs trocken gehaltene Baugrube das Grundwasser bis in Pfahlkopfhöhe eintreten und reißt in der Höhe des Grundwasserspiegels an den Pfählen die betreffenden Marken ein.

Sind die Pfahlköpfe entsprechend vorbereitet, so wird zwischen den Pfählen die Bettung bis zur Höhe der Schwellen-Unterkante eingebracht; hierauf werden die beiden Schwellenlagen veretzt und alsdann die von ihnen gebildeten Fache gleichfalls ausgefüllt.

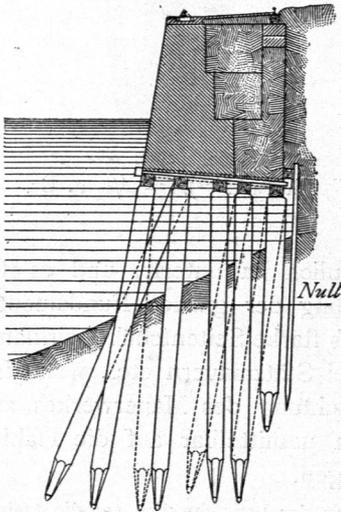
Bei Gründungen im offenen Wasser kann man gleichfalls durch Umschließung der Baustelle mit einer Spund- oder Pfahlwand, bezw. mit einem Fangdamm die Bildung einer wasserfreien Baugrube ermöglichen.

Das Abschneiden der Pfähle in gleicher Höhe kann in diesem Falle auch unter Wasser, mittels fog. Grundfägen, geschehen.

444.
Hoch-
liegende
Pfahlroste.

Die Herstellung und Trockenlegung einer Baugrube kann im offenen Wasser umgangen werden, wenn man statt des tief liegenden den schon erwähnten hoch liegenden Pfahlrost anwendet. Die aus dem Grunde hervorragenden Langpfähle reichen bis an das Niederwasser und erhalten in dieser Höhe den Schwellenbelag (Fig. 702). Der Raum zwischen den Pfählen wird häufig mit Steinschüttungen ausgefüllt; bei größerer Höhe trachtet man die Standfestigkeit des Fundamentes durch ein zwischen die Pfähle gelegtes Strebenwerk zu erhöhen.

Fig. 702.



445.
Bohlenbelag.

Vom Sandthor-Quai in Hamburg.
 $\frac{1}{100}$ n. Gr.

Beim Bau der neuen Börse in Königsberg (1871—73, Arch.: H. Müller) ist der dem Wasser zugekehrte Theil des Gebäudes auf Langpfählen gegründet. Um diese abzusteuern, bezw. gegen Ausknicken zu schützen, wurde zwischen die Pfähle, nachdem sie durch Spundwände umschlossen waren, eine Beton-Schüttung eingebracht. Schließlich wurde auf die Pfahlköpfe ein Bohlenbelag gelegt und auf diesen das Mauerwerk gesetzt.

Der Bohlenbelag wird hier eben so wie beim Schwellrost ausgeführt; seine Dicke, so wie auch die Abmessungen der Schwellen sind wie bei letzteren zu wählen. Die Anordnung der Schwellenlagen und des Bohlenbelages an Mauerecken und Mauerdurchkreuzungen findet gleichfalls wie bei den Schwellrosten statt (vergl. auch die Tafel bei S. 310). Bisweilen fehlt der Bohlenbelag gänzlich; es ist dies um so zulässiger, je tiefer die Bettung in den Boden reicht (Fig. 701); auch läßt man die eine oder die andere Schwellenlage weg, was insbesondere in Betreff der Querschwellen geschehen kann, sobald der Bohlenbelag die erforderliche Querverbindung hervorbringt.

446.
Spundwände.

Sobald durch Wasser ein Unterwaschen der Rostdecke oder ein Erweichen des darunter befindlichen Bodenmaterials eintreten kann oder wenn man ein starkes seit-

liches Ausweichen der lockeren Bodenschicht und der darin stehenden Pfähle befürchtet, ist der Pfahlrost durch eine Spundwand dagegen zu schützen. Dieselbe umschließt entweder das ganze Fundament, oder

Fig. 703.

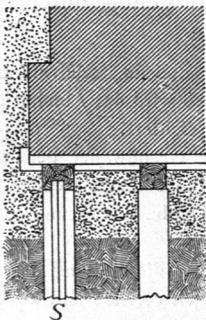


Fig. 704.

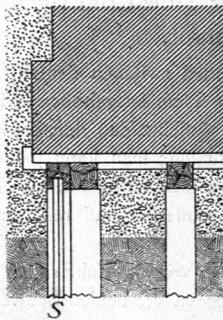
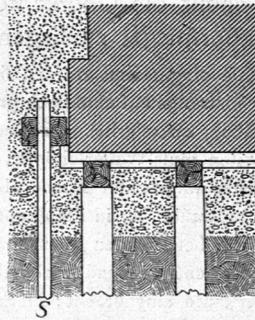


Fig. 705.



Anordnung von Spundwänden bei Pfahlrosten. — $\frac{1}{100}$ n. Gr.

ſie wird nur an jener Seite geſchlagen, von wo aus der Angriff des Waſſers ſtattfindet. Bei Gründungen im offenen Waſſer dürfen Spundwände nur dann fehlen, wenn ſie durch Steinſchüttungen erſetzt werden.

Es iſt am vortheilhafteſten, die Spundwand *S* unabhängig von der Pfahlroſt-Conſtruction anzuordnen, wie in Fig. 705. Die Spundwand zwiſchen die äußerſten Pfahlreihen oder unmittelbar neben dieſelben, ſo zu legen, daſs die Roſtdecke oder der Bohlenbelag darüber hinwegreicht, iſt nur dann zuläſſig, wenn die Pfahlreihenordnung nach Fig. 697 geſchehen iſt. Sonſt bewirkt die Spundwand ungleichmäſſige Senkungen, da ſie unter der Belaftung ſich weniger ſetzt, als die dazu parallelen Pfahlreihen (Fig. 703 u. 704). Befürchtet man ein ſeitliches Ausweichen der gefondert angebrachten Spundwand, ſo verbinde man ſie durch eiferne Anker mit den Querſchwellen der Roſtdecke.

2) Beton-Pfahlroſte werden in der Weiſe gebildet, daſs man auf die eingerammten und in gleicher Höhe abgeſchnittenen Pfähle eine Beton-Schicht von entſprechender Mächtigkeit aufbringt (Fig. 706 u. 707). Die Pfahlköpfe ſollten nicht weniger als 15 cm in den Betonkörper reichen, und dieſer ſollte über den Pfahlköpfen keine geringere Mächtigkeit als etwa 50 cm, beſſer 75 cm haben. Für die Herſtellung dieſer Beton-Schicht gilt das über Beton-Fundamente bereits Gefagte. Spundwände, welche den Betonkörper umſchließen und gegen Unterwaſchung ſchützen, ſollten hier niemals fehlen (Fig. 707).

Für die Gründung des neuen Reichstagshaufes in Berlin²⁰³⁾ iſt an einzelnen Stellen (nördliche Thürme und Kuppel), wo der Baugrund beſonders ungünftig befunden wurde, Beton-Pfahlroſt-Gründung in Anwendung gekommen. Die mittels Dampfrahmen *Siffon & White'schen* Systemes in der Zeit vom 1. September bis 14. October 1884 und zur Befchleunigung der Arbeit mit Hilfe der elektriſchen

Beleuchtung in den Abendſtunden geſchlagenen 2232 Stück Rundpfähle der Kuppel hatten bei einem mittleren Durchmeſſer von 25 cm eine Länge von 5 m, wurden in einer Tiefe von 1,1 m unter Niederwaſſer abgeſchnitten und mit einem Betonkörper von 1,4 m Stärke bedeckt. Die Pfähle wurden nach einem gleichſeitigen Dreieck in 1 m Entfernung von Mitte zu Mitte in ſchrägen Reihen, deren normaler Abſtand 86,6 cm betrug, eingerammt. Vorher war die ganze Baugrube durch eine Spundwand von 5,25 m Tiefe umſchloſſen worden. Nach Beendigung der Rammarbeiten wurde der Boden zwiſchen den Pfahlköpfen bis auf 15 cm unterhalb dieſer ausgehoben, ſo daſs die Pfahlköpfe um dieſes Maſs in die Beton-Decke eingreifen²⁰⁴⁾.

Ueber die Koſten dieſer Gründung, inſondere auch im Vergleich zur gewöhnlichen Beton-Gründung ſiehe den unten²⁰³⁾ angezogenen Artikel.

Die Stärke, welche die Beton-Decke unter den ungünſtigſten Verhältniſſen erhalten müſſte, läſſt ſich ermitteln, wenn man von der Vorausſetzung ausgeht, daſs dieſe Platte die ganze Laſt auf zwei benachbarte Pfahlreihen wie ein horizontal eingepannter Balken vermöge ſeiner Biege- und Scherfeſtigkeit zu übertragen hat.

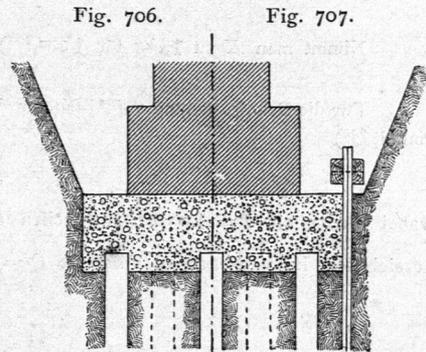
Allerdings liegt ein ſolcher Zuſtand nur dann vor, wenn etwa durch Waſſeradern an der Beton-Unterfläche die Berührung zwiſchen Beton und Erde unterbrochen werden oder letztere dem Zusammenpreſſen viel weniger Widerſtand entgegenſetzen ſollte, als die Pfähle ſelbſt.

Für Beanspruchung auf Biegung iſt die Gleichung²⁰⁵⁾

$$\frac{f}{a} = \frac{M}{K}$$

in Anwendung zu bringen, worin $\frac{f}{a}$ das fog. Widerſtandsmoment iſt, f das Trägheitsmoment des Quer-

447.
Beton-
Pfahlroſte.



Beton-Pfahlroſte. — $\frac{1}{100}$ n. Gr.

448.
Stärke
der
Beton-Decke.

²⁰³⁾ Siehe Art. 374 (S. 260).

²⁰⁴⁾ Nach: Centralbl. d. Bauverw. 1885, S. 25.

²⁰⁵⁾ Siehe Gleichung 36. in Theil I, Bd. 1 (S. 262) dieſes »Handbuches«.

schnittes, a den Abstand der am meisten gezogenen Faser von der neutralen Axe, M das größte Biegemoment und K die größte zulässige Zugbeanspruchung des Betons bezeichnet.

Für einen beiderseits eingespannten Balken ist das größte Angriffsmoment, wenn p die Belaftung für die Flächeneinheit und l die freie Länge des Balkens bezeichnen,

$$M = \frac{1}{12} p l.$$

Ist h die Stärke der Beton-Decke, so ist $a = \frac{h}{2}$ und für einen Streifen von $b = 1$ m Breite ²⁰⁶⁾

$$\mathcal{F} = \frac{1}{12} h^3.$$

Es wird fonach, auf Grundlage der obigen Bedingungsgleichung,

$$\frac{1 \cdot h^3 \cdot 2}{12 \cdot h} = \frac{p l}{12 K},$$

woraus

$$h = \sqrt[3]{\frac{p l}{2 K}}.$$

Nimmt man K zu 1,3 kg für 1 qcm ²⁰⁷⁾ an, so wird für Beanspruchung auf Biegung

$$h \doteq 0,0062 \sqrt[3]{p l}.$$

Für die Beanspruchung auf Abfcheren dicht neben den Pfählen ist die Schubspannung für die Flächeneinheit ²⁰⁸⁾

$$\mathcal{S} = \frac{3}{2} \frac{Q}{h},$$

wobei wieder ein $b = 1$ m breiter Streifen angenommen wird und Q die Transversal- oder Vertikalkraft bezeichnet. Im vorliegenden Falle ist $Q = \frac{p l}{2}$, fonach

$$\mathcal{S} = \frac{3}{4} \frac{q l}{h}.$$

Die für Schubfestigkeit erforderliche Querschnittsgröße F ergibt sich aus der Relation ²⁰⁹⁾

$$F = \frac{\mathcal{S}}{T},$$

worin T die größte zulässige Schubbeanspruchung bezeichnet. Im vorliegenden Falle ist (für den 1 m breiten Streifen) $F = h$, fonach

$$h = \frac{\mathcal{S}}{T} = \frac{3 p l}{4 h T},$$

woraus

$$h = \sqrt[3]{\frac{3 p l}{4 T}} = 0,866 \sqrt[3]{\frac{p l}{T}}.$$

Nimmt man die Schubfestigkeit eines guten Cementmörtels zu 16 kg für 1 qcm und 10-fache Sicherheit an, so wird

$$h = 0,866 \sqrt[3]{\frac{p l}{16000}} = 0,0068 \sqrt[3]{p l}.$$

Beispiel. Beim Bau des neuen Reichstagshauses in Berlin betrug die größte Belaftung der Beton-Decke stellenweise 60 t für 1 qm und der Abstand der Pfahlreihen, wie im vorhergehenden Artikel gefagt, 87 cm; fonach ergibt sich für Beanspruchung auf Biegung

$$h = 0,0062 \sqrt[3]{60000 \cdot 0,87} = 1,42 \text{ m}.$$

Die mit 1,4 m gewählte Stärke der Beton-Decke ist fonach ausreichend.

Für die Beanspruchung auf Abfcheren ist die größte Schubspannung bei der gewählten Stärke $h = 1,4$ m

$$\mathcal{S} = \frac{3}{4} \cdot \frac{60000 \cdot 0,87}{1,4} = 28000 \text{ kg für 1 qm}$$

oder 2,8 kg für 1 qcm. Die Querschnittsfläche $F = 1,4$ m, fonach die Beanspruchung auf Abfcheren

$$T = 2,0 \text{ kg für 1 qcm}.$$

²⁰⁶⁾ Siehe Gleichung 43. (S. 266) ebendaf.

²⁰⁷⁾ Siehe Tabelle auf S. 247 ebendaf.

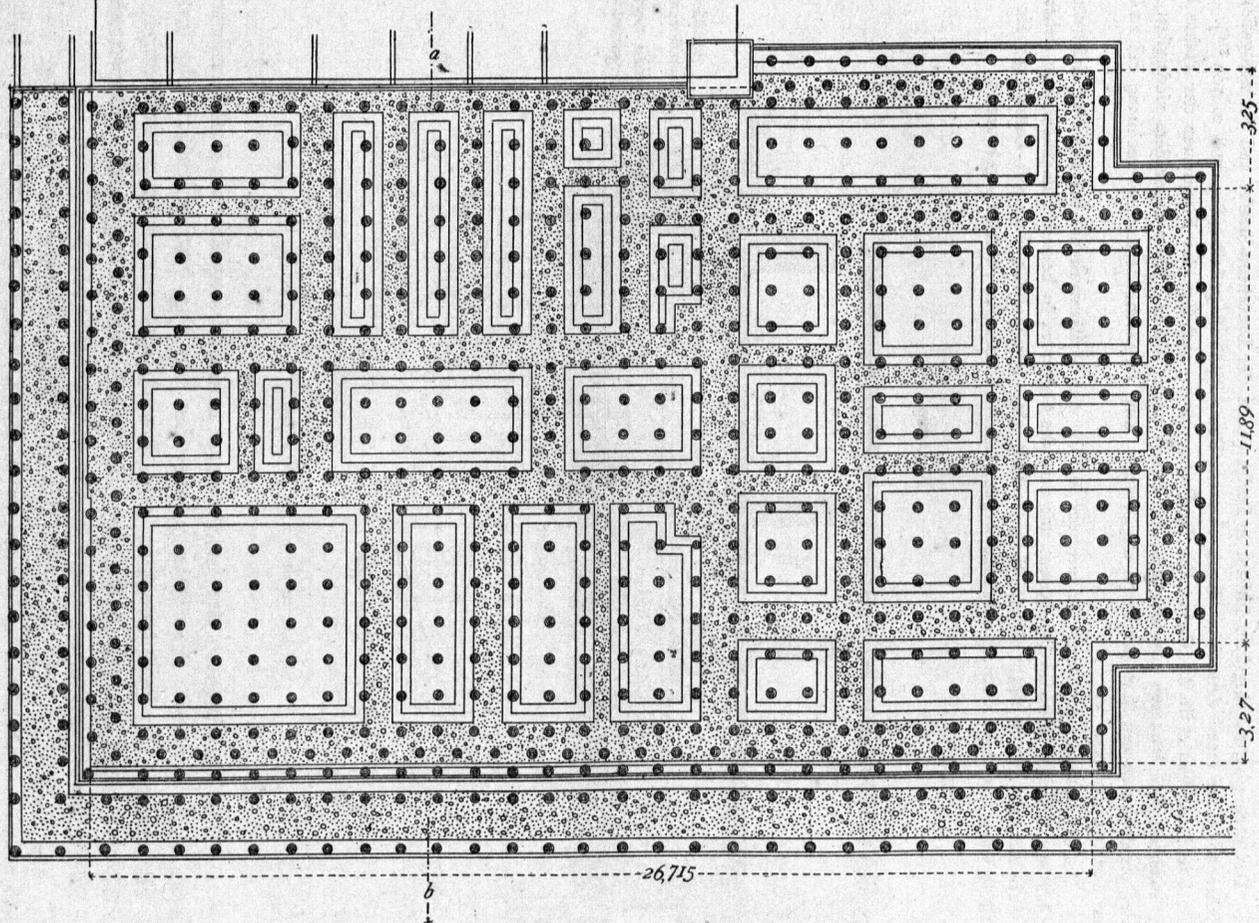
²⁰⁸⁾ Siehe Art. 326 (S. 287) u. 329 (S. 289) ebendaf.

²⁰⁹⁾ Siehe Gleichung 27. (S. 255) ebendaf.

Fig. 708.

Physiologisches Institut.

$\frac{1}{200}$ n. Gr.



Siehe
den Querschnitt
auf S. 316.

Fundament-Plan für das neue pharmakologische Institut in Berlin ²¹⁰).

4) Betreff der Anwendung der Pfahlrost-Fundamente sind bereits in Art. 432 (S. 306) die beiden Hauptfälle hervorgehoben worden, in denen diese Gründungsweise besonders in Frage kommt. Es ist auch schon gesagt worden, daß jene Anordnung den Vorzug verdient, wobei die Pfahlspitzen auf oder in der tragfähigen Bodenschicht stehen.

Unter den verschiedenen Pfahlrost-Constructionen ist im Allgemeinen dem Beton-Pfahlrost der Vorzug zu geben. Derselbe gestattet meist eine einfachere und raschere Ausführung; seine Kosten sind jedenfalls nicht höher, als die des gewöhnlichen Pfahlroftes, und man vermeidet zwischen Pfählen und Mauerwerk eine Zwischen-Construction, die aus so verschiedenartigem Material und aus so vielen Theilen besteht; Wasserschöpfen, welches nicht selten nachtheilig auf die Nachbargebäude wirkt, kann gänzlich vermieden werden. Die gewöhnliche Pfahlrost-Construction sollte man nur dann dem Beton-Pfahlrost vorziehen, wenn man eine Betonirung nicht leicht ausführen kann, oder wenn in sehr lockerem Boden eine besonders kräftige Verankerung der Rostpfähle unter einander erforderlich wird.

Da jedoch der letztgedachte Fall im Hochbauwesen sehr selten vorkommt, so läßt sich die Anwendung des Beton-Pfahlroftes für Hochbauten ziemlich allgemein empfehlen. Es ist zu bedauern, daß sich derselbe im Hochbauwesen bis vor Kurzem fast gar keinen Eingang verschafft hatte, obwohl die bei Ingenieurbauten gemachten Erfahrungen darthun, daß dies eine sehr zweckmäßige und zuverlässige Gründungsmethode ist²¹¹⁾. Um so erfreulicher ist es, daß in der neuesten Zeit, wie die Beispiele in Art. 447 u. 449 zeigen, ausgiebigere Anwendung von dieser Fundament-Construction gemacht wird.

Es soll schliesslich nicht unerwähnt bleiben, daß Pfahlrost-Gründungen stets kostspielige Fundirungsmethoden sind. Sie kommen um so theurer zu stehen, je länger die Rostpfähle sind. Man ist in letzterer Beziehung bis zu 20^m und mehr Pfahllänge gegangen; indess sollte man 12, höchstens 15^m nicht leicht übersteigen; bei grösserer Fundirungs-Tiefe kommt in vielen Fällen die Gründung mit anderweitigen versenkten Fundamenten billiger zu stehen²¹²⁾. Die Pfahlrost-Fundirung stellt sich dagegen in jenen Fällen am billigsten heraus, wo über dem tief anstehenden, tragfähigen Sandboden eine mächtige, weiche Alluvial-, Moor- oder Darg-Schicht lagert, wie dies z. B. in den deutschen und holländischen Nordsee-Marschen vorkommt.

Roste mit eingerammten Pfählen dürfen nicht angewendet werden, wenn durch die beim Einrammen der Pfähle erzeugten Erschütterungen nahe stehende Gebäude, unterirdische Rohrleitungen etc. Schaden leiden könnten, ein Fall, der in unseren Städten nicht selten vorkommt.

Die Pfahlrost-Gründung wird wohl auch mit anderen Fundirungsmethoden vereint angewendet. Fig. 667 (S. 283) zeigt eine Pfeilergründung mit Pfahlrost; in diesem Falle sind die Mauern des betreffenden Speichers auf einzelnen Pfeilern fundirt; zwischen letzteren sind Erdbogen eingeschaltet; Mauern und Pfeiler ruhen auf einem Pfahlrost.

²¹¹⁾ Für Brückenpfeiler in grösseren Wassertiefen kommt der gewöhnliche Pfahlrost nur mehr sehr selten zur Anwendung. Mittels Beton-Pfahlrost sind in neuester Zeit die Pfeiler sehr grosser Strombrücken fundirt worden. Rostpfähle mit Beton-Schichten von 6 bis 8^m Mächtigkeit haben sich vorzüglich bewährt.

²¹²⁾ Nach einer von *Funk* gemachten Zusammenstellung, welche sich auf ca. 50 neuere Brücken-Fundirungen erstreckt, ergeben sich die durchschnittlichen Kosten von 1^{ebm} Brückenpfeiler bis zum Niederwasserstand bei Gründung auf Beton-Pfahlrost zu 97, bei Gründung auf Senkbrunnen zu 71 Mark. — Bei 19 Pfeilern, welche in neuerer Zeit für 6 sächsische Elb-Brücken ausgeführt worden sind, stellen sich die Kosten des Pfeilermauerwerkes bis zur Wasserhöhe

	bei Pfahlrost-Gründung:	bei Senkbrunnen-Gründung:
für 1 ^{ebm}	zwischen 105 u. 197 Mark;	zwischen 82 u. 125 Mark;
» 1 ^{qm} Sohlenfläche	zwischen 327 u. 480 Mark;	zwischen 254 u. 859 Mark;
» 1 ^{qm} des reinen Mauerwerkes	zwischen 447 u. 685 Mark;	zwischen 308 u. 1002 Mark.

Literatur

über »Pfahl-Gründungen«.

- Neue Art der Pfahlgründung und Verankerung. *Civiling.* 1855, S. 124.
- VAN RONZELEN. Ueber die Anwendung von Schrägpfehlen bei Fundamenten von Futtermauern. *Zeitschr. d. Arch. u. Ing.-Ver. zu Hannover* 1858, S. 462.
- Beobachtungen über Pfahlgründungen durch Einschrauben. HAARMANN'S *Zeitschr. f. Bauhdw.* 1862, S. 162.
- Fundirungen auf Pfahlroßt nach Compression des Bodens. *Zeitschr. d. Arch.- u. Ing.-Ver.* 1865, S. 276.
- Eine Erfahrung bei Fundaments-Bauten in Treibfand. *Zeitschr. d. öft. Ing.- u. Arch.-Ver.* 1867, S. 41.
- BÜCKING, H. Foundation einer Lokomotiv-Drehfcheibe auf dem Bahnhofe Bremen. *Deutsche Bauz.* 1878, S. 178.
- Promenade pier, Aldborough, Suffolk. Engineer*, Bd. 46, S. 182, 183.
- Iron promenade pier, Skegness. Engineer*, Bd. 49, S. 42, 44, 66, 72.
- PFEIFER. Der Pfahlroßt des Gerichtsgebäudes in Braunschweig und das Einpfählen von Pfählen. *Centralbl. d. Bauverw.* 1882, S. 467.

2. Kapitel.

Senkbrunnen-Gründung.

452.
Uebersicht.

Die Gründung auf Senkbrunnen ist grundsätzlich nichts Anderes, als die Gründung auf einzelnen Fundament-Pfeilern, wie solche in den Art. 394 bis 399 (S. 277 bis 281) vorgeführt wurde. Auch hier werden Pfeiler auf die tragfähige Bodenschicht gesetzt und im oberen Theile durch geeignete Constructionen mit einander verbunden; auf der so gebildeten Substruction kann alsdann das Tagmauerwerk aufgeführt werden.

Der einzige Unterschied zwischen der Pfeiler- und Brunnengründung liegt in der Art und Weise der Pfeilerherstellung. Bei der früher beschriebenen Pfeilergründung mußte die nicht tragfähige Bodenschicht abgegraben werden, und es wurde auf der Sohle der so gebildeten Baugrube der Pfeiler massiv aufgemauert. Im vorliegenden Falle jedoch sind die Fundament-Pfeiler durch die lockere Bodenschicht hinabzusenken und werden in Folge dessen zunächst hohl oder brunnenartig ausgeführt. Im Hohlraume des Pfeilers wird mittels Handarbeit oder mit Hilfe mechanischer Vorrichtungen unter dem Brunnenmantel allmählich das lockere Bodenmaterial entfernt und auf diese Weise der Brunnen zum Sinken gebracht. Ist die Senkung bis auf die erforderliche Tiefe vollzogen, so wird der Brunnen mit geeignetem Material ausgefüllt und hierdurch in einen massiven Fundamentpfeiler verwandelt.

Die innige Verwandtschaft zwischen der gewöhnlichen Pfeiler- und der Senkbrunnen-Gründung zeigt sich auch in der Thatfache, daß nicht selten bei einem und demselben Gebäude ein Theil der Fundament-Pfeiler innerhalb ausgefachteter Baugruben massiv aufgemauert, ein anderer aber brunnenartig versenkt wird; in der Regel ist hierbei die Fundirungs-Tiefe und der geringere oder stärkere Wasserandrang maßgebend. — An der Baustelle der neuen Locomotiv-Reparatur-Werkstätte auf dem Bahnhofe zu Genthin fand sich eine nach Süden ausgehende Torfschicht, welche an der nordöstlichsten Ecke des Gebäudes am mächtigsten war und dort 6 m Tiefe besaß; die Werkstätte wurde auf Pfeilern aufgeführt, welche durch Grundbogen verbunden waren; 16 Pfeiler konnten in gewöhnlicher Weise auf dem unter dem Torf anstehenden Sande hergestellt werden; bei den übrigen 24 Pfeilern war die zu durchdringende Torfschicht zu mächtig und der Wasserzudrang zu stark, so daß Brunnenpfeiler versenkt wurden.

In Art. 397 (S. 280) wurde bereits gesagt, daß unter gewöhnlichen Verhältnissen Senkbrunnen, die wohl auch Fundament-Brunnen, Senkschächte, Brunnenpfeiler etc. genannt werden, bei etwa 5 bis 6 m Tiefe billiger, als gewöhnliche Fundament-Pfeiler zu stehen kommen. Bei noch größerer Fundirungs-Tiefe verurfacht die Ausschachtung, erforderlichen Falles auch die Zimmerung der Bau-