

## 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 Bodenmaterial<sup>199)</sup>.

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

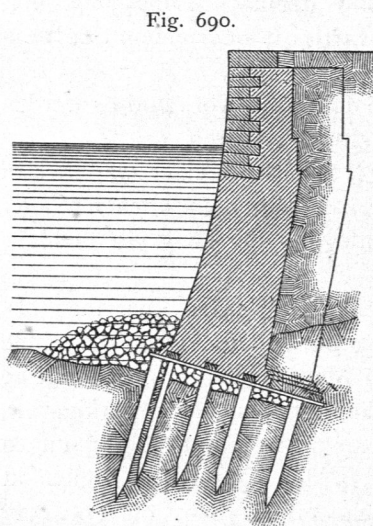


Fig. 690.

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).

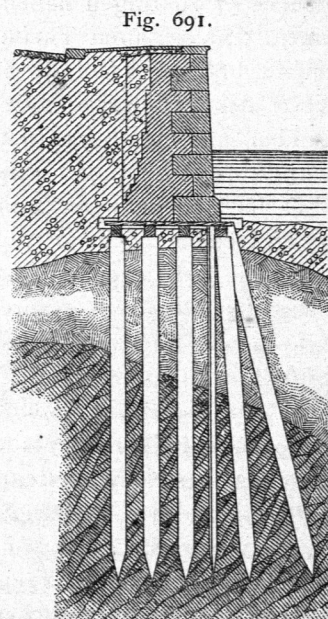


Fig. 691.

Reefendamm-Quai-Mauer in

Hamburg. —  $\frac{1}{200}$  n. Gr.

<sup>199)</sup> 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*<sup>200)</sup>, *Weisbach*<sup>201)</sup> etc. aufgestellten Ramm-Theorien benutzen.

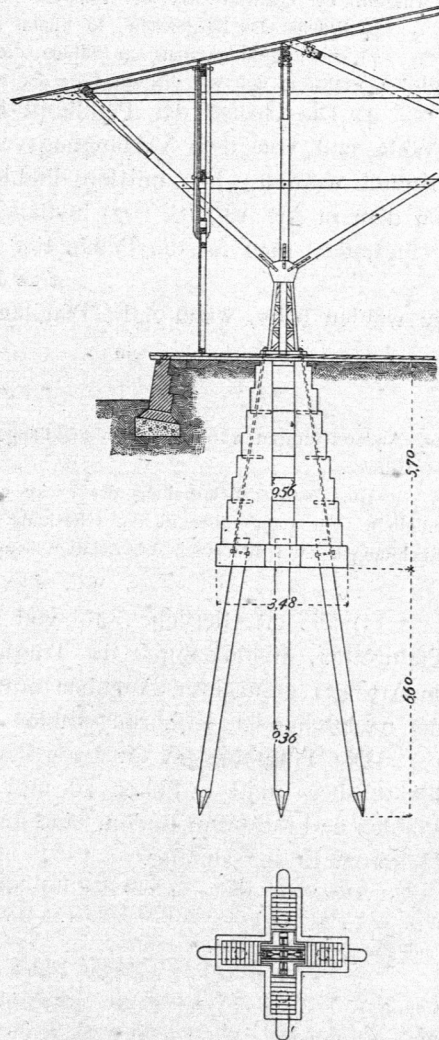
Die Ramm-Theorien haben die Aufgabe, eine Beziehung zwischen der Stosswirkung, die eine Ramme auf den einzutreibenden Pfahl ausübt, und der ruhenden Last, die er mit Sicherheit zu tragen im Stande ist, aufzustellen. Die gedachte Stosswirkung läßt sich nach jeder Hütze (von etwa 20 unmittelbar auf einander 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.

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

<sup>201)</sup> 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 Bärgegewicht, so nimmt die Tragfähigkeit um ca. 0,8 des vermehrten Gewichtes zu.

γ) Die Tragfähigkeiten von Pfählen, die mit gleichem Bärgegewicht 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 Pfahllänge. 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 Pfahllänge (in Met.) bezeichnet.

*Prudhomme* giebt allgemein

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

an. Andere Autoren wählen bis 5 m Pfahllänge 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.

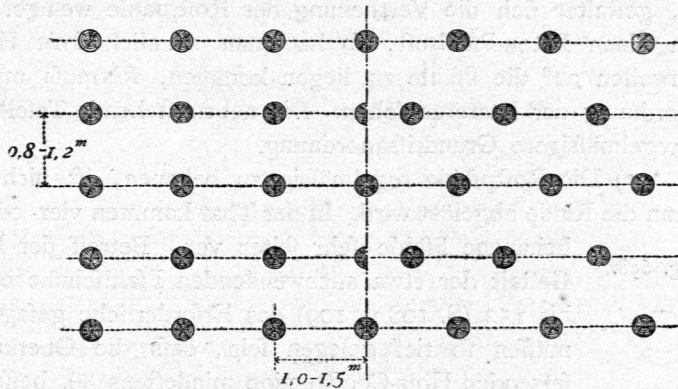


Fig. 694.

Fig. 696.

Fig. 697.

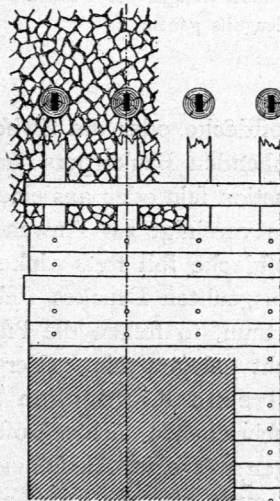
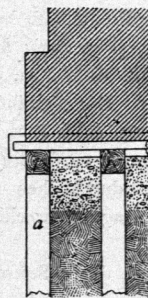
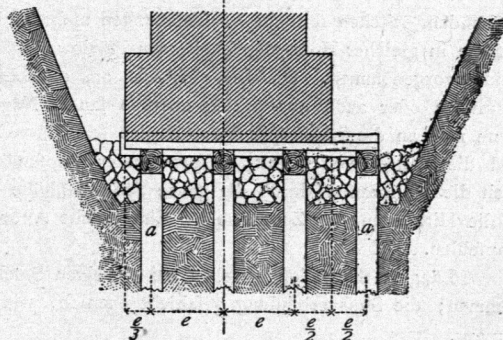


Fig. 695.



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 Pfahlpitze, 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 verieht (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.