

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300596

- Heft 22: Der Einfluß der Längs- und Querkräfte auf statisch unbestimmte Bogen- und Rahmentragwerke.** Von Dr.-Ing. **Rueb**, Städt. Ingenieur.
Mit 6 Textabb. u. 3 Tafeln. 1914. geh. 2,60 M.
- Heft 23: Die Berechnung der freilaufenden, rechteckigen Platten.** Von Dr.-Ing. **M. Leitz**.
Mit 26 Textabb. u. 2 Tafeln. 1914. geh. 3,60 M.
- Heft 24: Der doppelt gekrümmte Träger und das schiefe Gewölbe im Eisenbetonbau.** Ein Beitrag zu ihrer Berechnung. Von Dr.-Ing. **H. Marcus**.
Mit 23 Textabb. 1914. geh. 2,80 M.
- Heft 25: Die Rammwirkung im Erdreich.** Versuche auf neuer Grundlage. Von Dr.-Ing. **K. Zimmermann**, Königl. Regierungsbaumeister.
Mit 118 Textabbildungen. 1915. geh. 6,— M.

Heft 26: *Neuere Methoden für Statik der Rahmen-
tragwerke u. der schl. Holztragwerke.
Von Ing. A. Strasser. Mit 167 Abb.*



XXX
1010



FORSCHERARBEITEN

AUF DEM GEBIETE DES EISENBETONS

DIE RAMMWIRKUNG
IM ERDREICH
VERSUCHE AUF NEUER
GRUNDLAGE



HEFT XXV

PREIS 6,— MARK

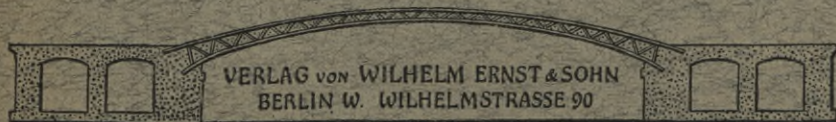
VON

Dr.-Ing. K. ZIMMERMANN

Kgl. Regierungsbaumeister

FN. 26 044

Mit 118 Textabbildungen



§

4. 1902

15.

*XX
1010*

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.

Alle Rechte vorbehalten.

Die Rammwirkung im Erdreich.

Versuche auf neuer Grundlage.

Von

Dr.-Ing. **Karl Zimmermann**

Königlicher Regierungsbaumeister.

Mit 118 Textabbildungen.

F. N. 26044



BERLIN 1915

Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn.

5.19a

15.



11-307045

~~III 17452~~

Nachdruck, auch auszugsweise, verboten.

Alle Rechte vorbehalten.

3003-156/2018

MEINER LIEBEN FRAU.

KURZES INHALTSVERZEICHNIS.

	Seite
Literaturübersicht und Rammformeln	2—9
Die gebräuchlichsten Pfahlkonstruktionen	11—12
Versuche mit gerammten Pfählen:	
1. Dynamischer (Ramm-) Vorgang	12—42
2. Das Absenkungs-, Verdrängungs- und Verdichtungsgebiet am fertig gerammten Pfahl	42—68
3. Belastungsproben	68—96

Literaturübersicht.

Theorie der Pfahlgründung vor 1906 (Nr. 13, 15, 17, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 26, 28, 32, 35 nach 1906).

Lfd. Nr.	Verfasser	Titel	Werk oder Zeitschrift (Erscheinungsort)	Jahr	Formel	Versuche	Schlussfolgerung
1.		<i>Ueber die Tragfähigkeit hölzerner und eiserner Pfähle</i>	Zeitschr. d. Arch.-u. Ing.-Vereins Hannover, S. 420	1870			
2.		<i>Tragkräfte eines eingerammten Pfahles nach einer in England gebräuchlichen empirischen Formel</i>	Zentralbl. d. Bauverw., S. 48 Exc. Min. of Proc. of the Inst. of Civ. Eng. Sess.	1883 1883 und 1884	$Y = z \frac{P}{500}$ Y = Eindringen beim letzten Schlag z = Mechanische Arbeit d. letzten Schlages P = Last	Nach Versuchen	
3.	Wolmy		Forschungen auf dem Gebiete der Agrikulturphysik	1889		Untersuchung über die Cohärenz der Bodenarten, durch Eintreiben eines Keils ermittelt	
4.		<i>Calcul du nombre des pieux pouvant supporter une maçonnerie donnée</i>	Les annales des travaux publics. Février, S. 29	1891			
5.	O. Ossant	<i>Formeln über Wirkung der Rammung und Tragfähigkeit der Pfähle</i>	Schweizerische Bauzeitung. April, S. 110 bis 112	1889	$W = \frac{h R}{[QR(1+d)^2 + R - Qa]^2}$ Aus Krapf „Formeln u. Versuche“		Die verlorene Arbeit infolge Stoßwirkung ist nicht berücksichtigt, dagegen der Arbeitsverlust beim unvollkommenen elastischen Stoß. Die Größe von a wird nicht angegeben.

6.		<i>Tragfähigkeit eingerammter Pfähle</i>	Transactions of the American society of civil engineers. August, S. 99, 114, 129 und 172	1892			
7.		<i>Tragfähigkeit hölzerner Pfähle</i>	Zeitschr. d. Arch.-u. Ing.-Vereins Hannover, S. 369, 478. Desgl., S. 162. Fortschritte der Ing.-Wissensch. I, 2, S. 2. Eng. news I, S. 171. Desgl. II, S. 3. Desgl. I, S. 544, 283, 348, 544	1893 1894 1893 1893* 1893* 1894*			* Bei der Verwendung eines Rammkechtes (Aufsetzer) bedurfte es doppelt soviel Schläge als ohne Rammkecht.
8.	Kreuter	<i>Bestimmung der Tragfähigkeit eingerammter Pfähle</i>	Zentralbl. d. Bauverw., S. 145, 190; Desgl., S. 46	1896 1897	$Rh = Wt + \mathfrak{S}$	Proberrammungen	Das Eindringen t eines Pfahles kann genügend genau der aufgewendeten lebendigen Kraft Rh als direkt proportional angesehen werden. R und W wird durch Versuche aus h und t ermittelt (s. „Krapf“ Nr. 37, S. 7).
9.	Bubendey	<i>Entgegnungen auf die Ausführungen von Kreuter: „Tragfähigkeit eingerammter Pfähle“</i>	Zentralbl. d. Bauverw., S. 533, 545. Desgl., S. 160	1896 1897		Proberrammungen mit Holzpfählen aus verschiedenen Fallhöhen	Bubendey unternimmt es, die Unrichtigkeit der weiteren Schlussfolgerungen Kreuters darzulegen, welche in der Behauptung gipfeln, h_0 (die Fallhöhe, bei welcher der Rammbar die Eindringung $t=0$ erzielt) sei $h_0 = h - \sigma \frac{Wt}{R}$

— σ ist ein Koeffizient, den Krapf der Kreuterschen Formel zugibt. Bubendey macht eine Reihe von Proberrammungen mit Holzpfählen (mit versch. Fallhöhe) und erhält auch für die Limite der jeweiligen Einsenkungstiefen t , welche im Zusammenhang mit den aufgewendeten lebendigen Kräften Rh dargestellt sind, eine nahezu durch den Ursprung gehende Gerade, d. h. eine genügende Proportionalität zwischen t und Rh , nicht aber $Rh_0=0$, sondern $Rh_0=0,6$.

Ein Schluß auf die Setzung unter der ruhenden Last kann nicht daraus gezogen werden. Weiter folgert er: Es handelt sich hier nicht allein um die Richtigkeit, sondern auch um die Größe von W . Es müßte daher eine ruhende Last $> W$ den Pfahl metertief und mindestens soweit eintreiben, als die Rechnung die Ziffer W aus dem Ziehen des Pfahles ableitet.

Lfd. Nr.	Verfasser	Titel	Werk oder Zeitschrift (Erscheinungsort)	Jahr	Formel	Versuche	Schlussfolgerung
10.	Fülscher	Vergleiche von Probelastungen von Pfählen mit der nach den theoretischen Formeln berechneten Tragfähigkeit beim Bau des Kaiser-Wilhelm-Kanals	Zeitschr. f. Bauverw., S. 526	1897			
11.	Haswell	Formel für die Tragfähigkeit	Proc. Am. soc. of civ. eng. Vol. 1, S. 280; Sept., S. 539	1899			
12.		Rammformeln, ihr Bau und die Sicherheitsziffern	Proc. Am. soc. of civ. eng. Sept., S. 539 bis 548	1899			
13.	v. Emperger	Tragfähigkeit von Beton-Eisenpfählen. Handbuch für Eisenbetonbau	Ztschr. d. Oesterr. Arch.-u. Ing.-Ver-eins, S. 746; 3. Bd., 2. Aufl.	1902 1910			
14.		Tragkraft von Pfählen	Zentralbl. d. Bauverw., S. 162	1904			
15.			Ztschr. d. Oesterr. Ing.-u. Arch.-Ver-eins, S. 528	1909			
16.	Engesser	Theorie des Baugrundes	Zentralbl. d. Bauverw., S. 306.	1893			Eine zylindrisch unten zugespitzte Form vermag eine größere Belastung zu tragen als eine zylindrisch unten stumpfe Form.
17.	Ritter v. Schön	Versuche von Ritter v. Schön in Wien	Monatsschr. f. d. öff. Baudienst, Handb. f. Eisenbetonbau, III. Bd., S. 168, 169	1909		Laboratoriumsversuche mit farbigen Schichten in einer Kiste, hervorgebracht durch Einrammen von Pfählen.	Engesser bespricht die Reibungskräfte von Bauwerken, die beim Herstellen derselben (Versenken von Brunnen) auftreten und durch welche die Grundfläche mehr oder minder entlastet oder deren nominelle Tragfähigkeit erhöht wird.

18.	Kurdgümmoff	Zur Frage des Widerstandes der Gründungen auf natürlichem Boden	Civil-Ingenieur. Dresden, S. 294, Tafel X	1892			
19.	Upson	Versuche von Upson	Am. Soc. Civ. Eng. Dez., S. 494	1909		Probeversuche	Stark konische Pfähle tragen mehr als schwach konische.
20.	Kafka	Ueber die günstigste Form der Betonpfähle	Oesterr. Wochenschrift f. d. öffentl. Baudienst	1908			Es soll möglich sein, die Tragfähigkeit von etwa 25 t durch einen 10 m langen zylindrischen oder durch einen 2 m langen konischen Pfahl zu erreichen.
	"	"Die Theorie der Pfahlgründungen"	Verlag von Julius Springer, Berlin	1912			Kafka entwickelt eine Rammformel, s. "Die bekanntesten Rammformeln", Nr. IX, S. 9 dieses Textes.
	"	Ueber eine ausgeführte Gründung mittels Beton-Blechrohr-Pfählen	Zeitschrift des Oesterr. Ing.-u. Arch.-Vereins	1909			
	"	Praktische Anwendung der Methoden zur Bestimmung der zulässigen Pfahlbelastung	Beton u. Eisen, S. 161, 196 u. 212	1909			Es werden die verschiedenen Verfahren besprochen und Formeln zur Bestimmung der zulässigen Beanspruchung sowohl aus der Beobachtung des Eindringungswiderstandes beim Rammen, als auch für die Beobachtung der Einwirkung ruhender Lasten zusammengestellt. Darstellung der Setzungen. Eingehende Besprechung verschiedener Belastungsproben. Rammprotokolle.
	"	Praktische Erfahrungen über künstliche Fundierungen in verbauten Stadtgebieten Oesterreichs	Zeitschrift des Oesterr. Ing.-u. Arch.-Vereins	1910			
	"	Die Berechnung der Tragfähigkeit gerammer Pfähle	Armierter Beton	1910			
21.	Mac Kella		Eng. Record. 17. August	1907			Mac Kella sieht von der Wirkung der Pfahlspitze ab und nimmt an, daß die Reibung längs der Mantelfläche von $\frac{1}{3}$ kg/cm ² am Pfahlkopf bis auf $\frac{2}{3}$ kg/cm ² an der Pfahlspitze zunimmt. Bei dieser Annahme bedarf es keines Beweises, daß die unten breitere Form oder wenigstens die gleich breite Form die vorteilhaftere ist (aus Hdb. f. Eisenbetonbau).
22.	Desmond	Beitrag von Desmond	Am. Soc. Civ. Eng. Transactions. Dez., S. 498	1909			

Lfd. Nr.	Verfasser	Titel	Werk oder Zeitschrift (Erscheinungsort)	Jahr	Formel	Versuche	Schlussfolgerung
23.	Howel	<i>Straightor Tapered Concrete Piles</i>	Eng. News 25. Februar	1909			Vergleich zwischen zylindrischem und konischem Pfahl. Der Seitendruck — als Funktion der Verdrängung und der Reibungsfläche — ist bei dem zylindrischen Pfahl überall gleich, während er bei dem konischen Pfahl rasch abnimmt. — Folgerung: Diese Anordnung ist nicht geeignet, die Tragfähigkeit fester, tiefer gelegener Schichten auszunutzen. (Aus Handbuch für Eisenbetonbau.)
24.	Stern		Beton u. Eisen, Heft I, S. 1, oder I. Auf. Handbuch für Eisenbetonbau	1907			Die statische Widerstandslinie, d. h. die Beziehung zwischen dem Anwachsen des Widerstandes W und der Absenkung t ist ausgedrückt durch $W = q \cdot t + c$, d. h. W nimmt linear mit der Einrammung zu. Stern entwickelt eine Rammformel, s. Die bekanntesten Rammformeln, Nr. VIII, S. 9 und S. 67 bis 68 dieses Textes.
25.	Osthoff	<i>Das Projektieren von Ingenieurbauten</i>	Verlag von Wilh. Ernst u. Sohn, Berlin	1908	$T = \frac{a U \sqrt{l}}{U}$ $l =$ Pfahlänge $U =$ Umfang des Pfahles $a =$ ein vom Boden abhängiger Koeffizient (1 bis 10)		Gilt nur für nahezu zylindrische Pfähle, die nur auf Reibung beansprucht sind.
26.	Lévy	<i>Formeln und praktische Ergebnisse bei Pfahlungen</i>	Ztschr. d. Oesterr. Ing.- u. Arch.-Vereins, S. 619	1908			
27.		<i>Tragkraft von Pfählen</i>	Zentralbl. d. Bauverw., S. 162	1904			
28.	Griffit	<i>Die äußerste Last bei Pfahlgründungen; eine Theorie der Statik (The ultimate load on pile foundation)</i>	Proc. of the Amer. Soc. of Civ. Eng., Mai, S. 884 bis 913	1910			Die Formeln von Patton, Viereckel und Rankine für die Tragfähigkeit der Pfähle werden verglichen und einer Kritik unterworfen; eine allgemeine auf dem Elastizitätsgesetz beruhende Theorie wird entwickelt.
29.	Föppl	<i>Versuche über die Elastizität des Baubodens</i>	Zentralbl. d. Bauverw.	1897			

30.	Hagen	<i>Handbuch der Wasserbaukunst</i>	I. Teil, 2. Bd., S. 146 bis 185. Berlin. Verlag von Ernst u. Korn. Mit einer Tafel	1870	Beziehung hierbei zwischen Tiefe s , bis zu welcher der Pfahl eingedrungen und der Einsenkung z bei jedem Schlag	Versuche mit kleinen Holzpfählen, ob ein Pfahl, der stumpf ist oder eine Spitze od. eine Schneide hat, nachdem er bereits fest eingerammt ist, mehr zieht. Bem.: Hagen konnte keinen Unterschied finden	Hagen zieht die Folgerung, daß die Tragfähigkeit von Pfählen nie durch eine Rammformel ermittelt werden kann, da die beiden Kraftäußerungen — in einem Falle Stoß, in dem andern Druck — so heterogen sind, daß sie unter Umständen wohl gleiche Effekte hervorbringen können, daß sie sich aber nicht in Parallele stellen lassen. Beweis ist die Tatsache, daß die Wirkung eines Schlages sich wesentlich vergrößert, sobald eine weiche Zwischenlage über dem Pfahl sich befindet, während dies auf die Äußerung des Druckes ohne Einfluß ist. Andererseits würde ein Pfahl, wenn der Boden aus einer flüssigen Masse besteht, nur so tief eindringen, als es der hydrostatische Druck erlaubt und wenn er während der schnell aufeinanderfolgenden Schläge einer Hitze auch einen tieferen Stand einnähme, so würde er in der darauffolgenden Pause doch wieder aufschwimmen und sonach beim fortgesetzten Rammen sich ungefähr so verhalten, als ob er absolut feststände, während er bei jeder neuen Belastung auf eine derselben entsprechende Tiefe herabsinken müßte.
31.		<i>Hdb. d. Ingenieurwissenschaften</i>	I. Teil, 3. Bd., 4. Aufl.	1907 1899 s. 12. d. Textes	$\tau = \frac{n}{e^x}$, wo x einen noch unbekanntem Exponenten und n eine Konstante bedeutet		
32.	Bernhard	<i>Baugrundbelastung</i>	Zentralbl. d. Bauverw., S. 78 Desgl., S. 268				
33.		<i>Beitrag zum Problem des Ramm-pfahles, Widerstand der Pfähle, Theorie und Anwendung</i>	Zeitschr. f. Architektur und Ingenieurwesen, S. 247 u. 254				
34.	Wex	<i>Tragfähigkeit eingerammter Pfähle</i>	Zeitschr. f. Bauwesen, S. 267	1880			
35.	Geiß	<i>Ein Beitrag zum Problem des Ramm-pfahles</i>	Beton u. Eisen, Heft XX	1911			
	"	<i>Tragfähigkeit von Pfählen in nachgiebigem Baugrund</i>	Zentralbl. d. Bauverw., S. 162	1904			
36.	Klassen	<i>Handbuch der Fundierungen</i>					
37.	Krapf	<i>Formeln und Versuche über die Tragfähigkeit eingerammter Pfähle</i>	Fortschritte der Ingenieurwissenschaften, 2. Gruppe, 12. Heft	1906	$W = \frac{1}{\sigma} R \frac{h - h_0}{t}$ od. $h = \sigma \frac{W}{R} t + h_0$ (Kreuter-Krapf)	Probearrangungen	Krapf ermittelt durch eine Reihe von Rammversuchen an einem Pfahl mit verschiedenen h die zugehörigen t und damit die Kreutersche Verhältniszahl $\sigma = \frac{R}{h - h_0} \frac{t}{W}$ Zur Bestimmung von σ wird nun durch Probearrangungen die tatsächliche Tragkraft W des Pfahles ermittelt. $1/\sigma$ bezeichnet Krapf als „Reduktionsziffer“. — Die wirkliche Tragkraft eines Pfahles wird nun durch Multiplikation der Reduktionsziffer mit dem Gewicht des Rammbaren und der Kreuterschen Verhältniszahl gefunden.

Die bekanntesten Rammformeln.

Übersicht der Bezeichnungen für die verwendeten Werte:

W = Gesamter Eindringungswiderstand
 R = Gewicht des Rammbaren
 Q = Gewicht des Pfahles
 h = Fallhöhe des Rammbaren

t bzw. s = Eindringungstiefe des Pfahles
 beim letzten Rammanschlag
 l = Länge des Pfahles

F = Pfahlquerschnitt
 ε = Elastizitätsmaß des Pfahlbaustoffes
 h_0 = Größte Fallhöhe des Rammbaren bei $t = 0$.

Lfd. Nr.	Urheber	Titel	Werk- oder Zeitschrift (Erscheinungsort)	Jahr	Formel	Schlußfolgerung
I.	Eytelwein	Praktische Anwendung zur Wasserbaukunst	13. Heft, S. 137. Berlin	1820	$W = \frac{R^2 h}{t(R+Q)} + R + Q$	Eytelwein berücksichtigt die verlorene Arbeit infolge elastischer Formänderung des Pfahles nicht und zieht R und Q vom Widerstand des Erdreichs ab.
II.	Redtenbacher	Prinzipien der Mechanik und des Maschinenbaues	2. Aufl.	1859	$W = F \left\{ \frac{-t\varepsilon}{l} + \sqrt{\frac{2\varepsilon}{Fl} \cdot \frac{hR^2}{R+Q} + \frac{t\varepsilon^2}{l}} \right\}$	Redtenbacher nimmt an, daß der Widerstand des Erdreichs sich gleichmäßig auf die ganze Pfahlänge verteile und die Mittelkraft in der Mitte des Pfahles angreife, während sie nahe an die Spitze zu rücken ist. Dafür rechnet er mit vollem At , statt zur Ermittlung des Arbeitsverlustes $\frac{3}{2}$ den Widerstand W mit $\frac{At}{2}$ zu multiplizieren. So gleicht es sich wieder aus.
III.	Rankine	Manual of applied Mechanics	3. Aufl.	1864	$W = -\frac{2\varepsilon Ft}{l} + \sqrt{\frac{4\varepsilon FRh}{l} + \left(\frac{2\varepsilon Ft}{l}\right)^2}$	Rankine nimmt an, der Pfahl werde in höherem Maße durch Reibung festgehalten und glaubt, das an der Spitze wirkende W durch $\frac{W}{2}$ ersetzen zu dürfen. Die verlorene Arbeit infolge der Stoßwirkung berücksichtigt er nicht.

IV.	Weißbach	Ingenieurmechanik	5. Aufl., 1. Bd., S. 824	1870	$W = -\frac{F\varepsilon t}{l} + \sqrt{\frac{2RhF\varepsilon}{l} + \left(\frac{F\varepsilon t}{l}\right)^2}$	Weißbach vernachlässigt wie Rankine — die verlorene Stoßwirkung.
V.	Mohr	Vorlesungen an der Technischen Hochschule in Stuttgart		1872	$W = a \left\{ \frac{-\varepsilon s}{l} + \sqrt{\frac{Qh}{1+Q} \cdot \frac{2\varepsilon}{la} + \frac{\varepsilon^2 s^2}{l^2}} \right\}$ $a = F, s = t, Q = R, Q_1 = Q.$ s. S. 8 d. Textes	Ist die Redtenbachersche Formel (vollkommen unelastischer Stoß).
VI.	Brix				$W = \frac{h}{t} \cdot \frac{QR^2}{(R+Q)^2}$ $Wt = \frac{1}{2} m v^2 = \frac{1}{3} \frac{Q}{g} v^2 = \frac{1}{3} g \frac{QR^2 2gh}{(R+Q)^2}$	Brix geht von der Geschwindigkeit, mit der der Pfahl nach dem Aufprall des Rammbaren voraussetzt, aus, vernachlässigt also die potentielle Energie des Rammbaren nach dem Aufschlage.
VII.	Kreuter-Krapf	Formeln und Versuche über die Tragfähigkeit eingerammter Pfähle	Verlag von W. Engelmann, Leipzig	1906	$W = \frac{R(h-h_0)}{\sigma \tau}$	σ ist durch Versuche zu ermitteln, ebenso h_0 .
VIII.	Stern	Das Problem der Pfahlbelastung	Verlag von Wilhelm Ernst u. Sohn, Berlin, S. 161	1908	$W = \frac{1}{k} \tau \sqrt{1 + \frac{2k}{\tau} \left[Q + R + \frac{Rh}{\tau} \cdot \frac{\gamma}{(R+Q)^2} - 1 \right]}$ k = Verkürzungsfaktor des Pfahles γ = Stoßelastizität des Pfahles τ = Einsenkung des Pfahles beim letzten Schlag	Unvollkommen elastisch. Stoß.
IX.	Kafka	Theorie der Pfahlgründungen	Verlag von Jul. Springer, Berlin	1912	$W = X \left[1 + \sqrt{1 - \frac{y}{X(2t + \lambda')}} \right]$ wo $X = \frac{2t + \lambda'}{k}$ und $y = \frac{R + Q}{6Rh(R + \eta^2 Q)}$ λ' durch Versuch zu ermitteln k = Verkürzungsfaktor des Pfahles η = Stoßelastizität	Unvollkommen elastisch. Stoß.
X.	Hurtzig				$W = \frac{Rh}{t + c}$ $c = 0,025 \text{ m}$	Die Formel ist eine empirische.

Ueberblick über die verschiedenen in Deutschland gebräuchlichsten Pfahlkonstruktionen aus Beton.

I. In den Boden selbst betonierte Pfähle.

1. System Simplex. Das Wesen des Systems besteht darin, ein zunächst unten geschlossenes, zylindrisches, 20 mm starkes Eisenrohr bis auf den tragfähigen Boden einzutreiben, in das Rohr Beton einzuführen und während dieser festgestampft wird, das Eisenrohr allmählich wieder herauszuziehen.

2. System Mast. Bei dieser Gründungsart wird eine im Boden verbleibende zylindrische oder konische Blechform, die in einer besonders konstruierten Spitze endigt, mittels eines Holzkerns bis auf den tragfähigen Boden eingetrieben und diese Form mit Beton ausgestampft.

3. System Stern¹⁾ „Konische Betonpfähle“. Eine konisch geformte Blechhülse, in die ein eigens hierzu konstruierter Holzkern paßt, wird in den Boden gerammt, der Kern herausgezogen und die Blechhülse, die im Boden bleibt, mit Beton ausgestampft.

4. System Strauß. Ein Bohrloch wird bis in die tragfähige Bodenschicht durch ein bergmännisches Verfahren abgeteuft und in dasselbe ein eisernes, zylindrisches Leitrohr nachgeschoben. In das Rohr wird Beton eingestampft und das Bohrloch unter allmählichem Hochziehen des Rohres ausbetoniert.

II. In fertiger Form gerammte Betonpfähle.

Diese Pfähle werden meist liegend, mit Eiseneinlagen versehen, in bestimmte Holzformen, zylindrisch oder prismatisch, gestampft und nach der Erhärtung gerammt. Eine besondere Ausbildung erfährt der Kopf und die Spitze.

¹⁾ Das System Stern wird für schwebende Pfählung (ohne Erreichen des tragfähigen Baugrundes) angewandt.

Pfahlrammformeln und ihre Urheber.

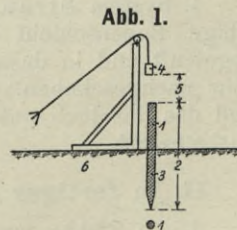
Auf S. 8 bis 9 sind die bekanntesten Rammformeln und ihre Urheber zusammengestellt. Während die älteren, wie Redtenbacher, Eytelwein, Weißbach, ihre Formeln auf den Gesetzen der Dynamik und dem Satze: Die lebendige Kraft, die der Rammhämmer beim Fallen erlangt, ist gleich der nutzbringenden Arbeit (in der Ueberwindung des Widerstandes gegen das Eindringen des Pfahles) und der verlorenen Arbeit infolge verschiedener Ursachen (Stoßwirkung, bleibende Formänderung des Pfahles), aufbauten und nun die Tragkraft eines Pfahles aus diesem Satze gleich dem Widerstand der Erde gemessen beim Eindringen des Pfahles unter dem letzten Rammschlag (unter Anwendung eines Sicherheitskoeffizienten) setzten, haben neuere Forscher, wie Stern und Kafka, neue Methoden aufgestellt und sind diese in der Literaturübersicht S. 5 u. 6 aufgeführt.²⁾

Nach Durchforschung der aufgeführten Literatur und infolge der bei gewöhnlichen Pfahlrammungen der Praxis gemachten Beobachtungen schien es mir in erster Linie erforderlich, durch die nachfolgend verzeichneten Rammversuche festzustellen, in welcher Weise der Pfahl während des Rammvorgangs auf das umgebende Erdreich einwirkt, welche zahlenmäßigen Bezeichnungen sich hierbei ergeben würden und welche Erscheinungen bei Aenderung der Verhältnisse insbesondere der Pfahlform und Pfahlgröße eintreten.

Versuche mit gerammten Pfählen.

Gegeben:

1. Pfahlform (Pfahldurchmesser, Pfahlspitze).
2. Pfahllänge.
3. Pfahlgewicht.
4. Bärgewicht.
5. Fallhöhe.
6. Bodenart.





²⁾ Eine Sonderstellung nimmt Hurtzig (Rammformel S. 9) ein, der nach Versuchen die Tragfähigkeit der Pfähle nach dem Reibungswiderstand, gemessen beim Herausziehen des Pfahles, bestimmt und die Bedingung aufstellt: Tragfähigkeit \leq Reibungswiderstand, eine Anschauung, die bereits Bernhard durch seine Versuchsergebnisse (Literaturübersicht S. 7) widerlegt.


**Bezeichnungen in der nachfolgenden Zusammenstellung
der Versuchspfähle.**


Zu 3 u. 4. Größe des kleinsten Pfahldurchmessers ($= d$) [am Schaftende oberhalb der Pfahlspitze] mit einer arabischen Ziffer, z. B. 3,6;


Größe des größten Pfahldurchmessers, ebenfalls mit einer darunter gesetzten arabischen Ziffer, z. B. 4/6.


Form des Pfahles (ohne Spitze):  (prismatisch) = A


„ „ „ „ „  (zylindrisch) = B


„ „ „ „ „  (4seitig. Pyramidenstumpf) = C

„ „ „ „ „  (Kegelstumpf) = D

Pfahlspitze, so lang wie der Pfahldurchmesser ($= d$) = a 

„ $1\frac{1}{2}$ mal so lang wie der Pfahldurchmesser ($= 1\frac{1}{2} d$) = b 

„ 2 mal so lang wie der Pfahldurchmesser ($= 2 d$) = c 

„ > 2 mal so lang wie der Pfahldurchmesser ($> 2 d$) = d 

Zu 5. Pfahllänge mit l in mm.

„ 6. Pfahlgewicht mit Q in kg.

„ 7. V = Kubikinhalt eines Pfahles in cm^3 .

„ 8. Bärgegewicht mit R in kg.

„ 9. Fallhöhe mit h in mm.

„ 10. t = Gesamte Rammtiefe des Pfahles in mm.

„ 12. t = Ziehen (Eindringen) des Pfahles beim letzten Rammschlag in mm.

„ 13. A = Rammarbeit in mkg = $\frac{R \cdot h}{1000}$ mal Schlagzahl.

„ 14. T = Tragfähigkeit eines Pfahles in kg.

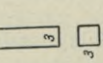
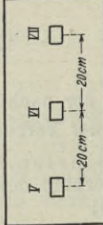

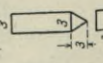
τ = Ziehen (Eindringen) des Pfahles unter einem Schläge in mm.

Eine Hitze enthält 10 Rammschläge aus derselben Fallhöhe.

Diese Bezeichnungen entsprechen den Gepflogenheiten der Fachliteratur.

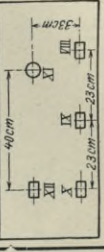
Zu den Versuchen wurden folgende Pfähle benutzt:

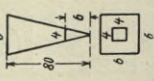
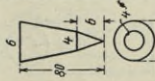
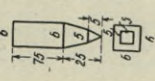
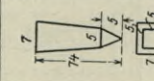
Zusammenstellung der Versuchspfähle.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
O. Z. (Ordnungszahl)	Pfähle, geordnet nach der Größe des kleinsten Pfahldurchmessers													
Nummer und Datum der Rammung	Pfahlform	Achsen-schnitt und größter bzw. kleinster Querschnitt in cm	Länge = l in mm	Gewicht = Q in kg	Volumen des bis 700 mm Tiefe einge-rammten Pfahles = V in ccm	Ramm-bär-ge-wicht = R in kg	Fall-höhe = h in mm	Ramm-tiefe = t in mm	Gesamt-zahl der Schlä-gel bei der Ramm-tiefe t	Ziehen beim letzten Schlag = t in mm	Rammarbeit je bei einer Ramm-tiefe von 700 mm (wo der Pfahl nicht so tief gerammt, wurde die Zahl der Schläge und damit A entsprechend ergänzt) = A in mkg	Trag-fähigkeit des Pfahles = T in kg bei einer Ramm-tiefe von 700 mm	Bemerkungen	
1	V 18. 4. 13	3 A 	1203	0,720 einschl. Eisen-band am Kopf	630	1,280	850	308	140	2,1	Wegen sehr großem Unterschied in der Ramm-tiefe (700 mm weniger 308 mm) wurde hier A nicht ergänzt		Zusammen in eine Kiste gerammt (zuerst V, dann VI, dann VII) mit einem Abstand der Pfahlmitten von 20 cm 	
2	VI 18. 4. 13	Derselbe Pfahl 	1210	0,810 mit Eisen-band	630	1,280	850	652	260	1,9				
3	VII 18. 4. 13	Derselbe Pfahl	1213	Desgl.	630	1,280	850	856	420	1,4				
4	VIII 23. 4. 13	3 A a 	1213	0,750 mit Eisen-band	612	1,280	850	859	540	1,3				
5	IX 23. 4. 13	Derselbe Pfahl	1210	Desgl.	612	1,280	850	707	390	1,4				
6	X 23. 4. 13	Derselbe Pfahl	1203	0,685 mit Eisen-band	612	1,280	850	554	290	1,2	Wie unter O. Z. 1			

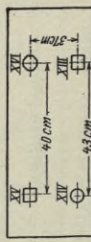
Bei allen Pfählen mit quadratischem Querschnitt sind die Ecken leicht abgefaßt.

Mit Pfahl Nr. XI und XII in eine Kiste gerammt mit einem Abstand der Pfahlmitten von 23 cm.



7	XIX 18. 5. 13	4/6 C b 	1140	2,185	1547	3,920	850	667	180	2,1				Wo nichts weiter bemerkt ist, ist der Pfahl für sich allein (ohne andere Pfähle) in die Kiste gerammt.
8	XXI 24. 5. 13	4/6 D b 	1200	1,825	1212	3,920	850	776	190	2,0				
9	XXXII 28. 5. 13	Derselbe Pfahl	1200	1,825	1212	3,920	850	755	170	2,1				
10	XXXIV 14. 6. 13	5/6 C a 	1000	3,260 einschl. einer Holz-manschette oben am Kopf zur Füh-rung des Pfahles in der Rinne	2267	3,920	850	688	190	2,7				
11	XXXVI 6. 6. 13	5/7 C a 	1040	3,500 mit 1 Mansch.	2343	3,920	850	836	380	1,3			1171 5/7 C a Nr. XXXXV, jedoch bei einer Ramm-tiefe von 746 mm	
12	XXXXV 25. 9. 13	Derselbe Pfahl	1040	Desgl.	2343	3,920	850	746	280	1,6				

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
O. Z. (Ordnungszahl)	Pfähle, geordnet nach der Größe des kleinsten Pfahldurchmessers				Volumen des bis 700 mm Tiefe einge-rammten Pfahles = V	Ramm-bär-gewicht = k	Fall-höhe = h	Ramm-tiefe = t	Gesamt-zahl der Schlä-ge bei der Ramm-tiefe t	Ziehen beim letzten Schlag = t	Rammarbeit je bei einer Ramm-tiefe von 700 mm (wo der Pfahl nicht so tief gerammt wurde die Zahl der Schläge und damit A entsprechend = A	Trag-fähigkeit des Pfahles in kg bei einer Ramm-tiefe von 700 mm	Bemerkungen	
	Nummer und Datum der Rammung	Pfahl-form	Achsen-schnitt und größter bzw. kleinster Querschnitt in cm	Länge = l in mm										Gewicht = Q in kg mit 1 Mansch.
13	XXIV 4. 6. 13	5/7 Cd		1100	3,650 mit 1 Mansch.	2119	3,920	850	770	310	1,3	870		Wo nichts weiter bemerkt ist, ist der Pfahl für sich allein (ohne andere Pfähle) in die Kiste gerammt.
14	XV 3. 5. 13	5,3 Aa		1210	2,175	1882	3,920	850	794	230	2,6	646		Mit Pfahl Nr. XIII, XIV und XVI in eine Kiste gerammt mit einem Abstand der Pfahlmitten von 40 cm.
15	XXXX 12. 8. 13	5,8/7,8 Da		940	2,625 mit 1 Mansch.	2344	3,920	850	750	290	1,5	860	1110 5,8/7,8 Da Nr. XXXXXI	
16	XXXXV 18. 6. 13	5,8/7,8 Dc		1000	2,575 mit 1 Mansch.	2144	3,920	850	746	260	1,7	776		



17	III 15. 4. 13	6 A		1140	2,875	2520	3,920	800	745	520	1,1	1502		
18	XII 23. 4. 13	6 Aa		1140	2,765	2376	3,920	850	750	330	1,6	1000		Wie unter O. Z. 4, 5 und 6; mit einem Abstand der Pfahlmitten von 40 cm. Siehe Skizze daselbst. Der Pfahl wurde zuletzt in die Kiste gerammt.
19	XIII 2. 5. 13	Derselbe Pfahl	Dieselben Figuren	1140	2,765	2376	3,920	850	794	320	1,9	910	730 6 Aa Nr. XXXVII	Wie unter O. Z. 14 mit einem Abstand der Pfahlmitten von 48 cm. Siehe Skizze daselbst. Der Pfahl wurde zuerst in die Kiste gerammt.
20	XVIII 13. 5. 13	Derselbe Pfahl	Dieselben Figuren	1000	3,500 mit 1 Mansch.	2376	3,920	850	653	220	2,3	883		
21	XXXVI 4. 7. 13	Derselbe Pfahl	Dieselben Figuren	1000	3,334 mit 1 Mansch.	2376	3,960	850	749	260	2,0	794		
22	XVI 3. 5. 13	6 Aa		1200	2,225	1972	3,920	850	786	250	2,4	680		Wie unter O. Z. 14 mit einem Abstand der Pfahlmitten von 40 cm. Siehe Skizze daselbst.
23	XXXIII 4. 6. 13	6 Ac		1100	2,740	2232	3,920	850	748	260	2,1	793		

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Pfähle, geordnet nach der Größe des kleinsten Pfahldurchmessers														
O. Z. (Ordnungszahl)	Nummer und Datum der Rammung	Pfahlform	Achsen- und größter bzw. kleinster Querschnitt in cm	Länge = l in mm	Gewicht = Q in kg	Volumen des bis 700 mm Tiefe einge-rammten Pfahles = V in ccm	Ramm-bär-ge-wicht = R in kg	Fall-höhe = h in mm	Ramm-tiefe = t in mm	Ge-samt-zahl der Schlä-ge bei der Ramm-tiefe t	Ziehen beim letzten Schlag = t in mm	Rammarbeit je bet einer Ramm-tiefe von 700 mm (wo der Pfahl nicht so tief gerammt wurde die Zahl der Schläge und damit A entsprechend ergänzt) = A in mkg	Trag-fähigkeit des Pfahles = T in kg bei einer Ramm-tiefe von 700 mm	Bemerkungen
24	IV 17. 4. 13	6 B		1200	2,310 mit Eisen- band	1979	3,920	850	700	320	1,6	1066		Wo nichts weiter bemerkt ist, ist der Pfahl für sich allein (ohne andere Pfähle) in die Kiste gerammt.
25	XI 23. 4. 13	6 B a		1210	2,165 mit Eisen- band	1866	3,920	850	768	250	2,4	740		Wie unter O. Z. 4, 5 und 6 mit einem Abstand der Pfahlmitten von 40 cm. Siehe Skizze dasselbst.
26	XIV 3. 5. 13	Derselbe Pfahl	Dieselben Figuren	1210	Desgl.	1866	3,920	850	790	230	2,3	640		Wie unter O. Z. 14 mit einem Abstand der Pfahlmitten von 43 cm. Siehe Skizze dasselbst.
27	XX 21. 5. 13	Derselbe Pfahl	Dieselben Figuren	1210	Desgl.	1866	3,920	850	749	240	1,9	716		
28	XXXXII 4. 9. 13	6/8 C a		940	3,660 mit 1 Mansch.	3146	5,825	850	740	240	1,8	1079		
29	XXXXIV 16. 9. 13	Derselbe Pfahl	Dieselben Figuren	940	Desgl.	3146	3,920	850	744	350	1,3	1060		

30	XXVIII 9. 6. 13	6/8 C c		1000	3,700 mit 1 Mansch.	2867	3,920	850	710	320	1,5	1042		
31	XXXII 12. 6. 13	Derselbe Pfahl	Dieselben Figuren	1000	Desgl.	2867	3,920	850	714	270	1,5	870		
32	XXIX 9. 6. 13	6,8 B a		980	3,140 mit 1 Mansch.	2392	3,920	850	708	360	1,4	1180	960 6,8 B a Nr. XXXVIII und Nr. XXXIX	
33	XXX 11. 6. 13	Derselbe Pfahl	Dieselben Figuren	980	Desgl.	2392	3,920	850	697	370	1,6	1240		
34	XXXVIII 30. 7. 13	Derselbe Pfahl	Dieselben Figuren	980	3,110 mit 1 Mansch.	2392	3,920	850	750	360	1,6	1096		
35	XXV 5. 6. 13	6,8 B c		1100	3,340 mit 1 Mansch.	2226	3,920	850	699	270	1,8	908		

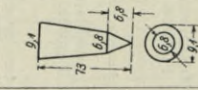
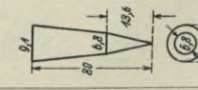
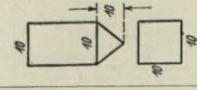
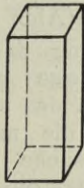
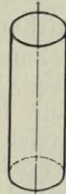
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
O. Z. (Ord- nungs- zahl)	Nummer und Datum der Rammung	Pfäh- form	Achs- schnitt und größ- ter kleinst- er Quer- schnitt	Länge	Gewicht	Volumen	Ramm- bär- gewicht	Fall- höhe	Ramm- tiefe	Ge- sam- zahl der Schlä- ge bei der Ramm- tiefe t	Ziehen beim letzten Schlag = t in mm	Rammarbeit je bei einer Ramm- tiefe von 700 mm (wo der Pfahl nicht so tief gerammt, wurde die Zahl der Schläge und damit A entsprechend = A in mkg	Trag- fähigkeit des Pfahles = T in kg bei einer Rammtiefe von 700 mm	Bemerkungen
			in cm	= l in mm	= Q in kg	des bis 700 mm Tiefe einge- rammten Pfahles = V in ccm								
36	XXXIII 13. 6. 13	6,8/9,1 D a		930	3,570 mit 1 Mansch.	3178	3,920	850	621	350	1,3	1566		Wo nichts weiter bemerkt ist, ist der Pfahl für sich allein (ohne andere Pfähle) in die Kiste gerammt.
37	XXVII 7. 6. 13	6,8/9,1 D c		1000	3,600 mit 1 Mansch.	2846	3,920	850	719	340	1,2	1083		
38	XXXI 11. 6. 13	10 A a		1000	7,165 mit 1 Mansch.	6333	8,000	850	723	470	1,7	3100		

Abb. 2.
Genauere Skizzen und Bezeichnungen der Pfahlformen.



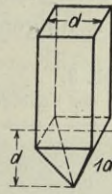
3A.

Prismatische
Pfahlform,
ohne Spitze.



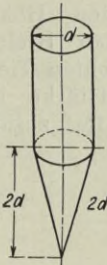
3B.

Zylindrische
Pfahlform,
ohne Spitze.



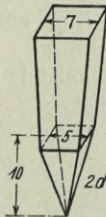
6Aa.

Prismatische
Pfahlform,
mit Spitze = $1 d$.



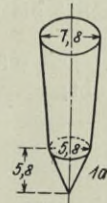
6Bc.

Zylindrische
Pfahlform,
mit Spitze = $2 d$.



5/7Cc.

4seitige
Pyramidenstumpf-
Pfahlform,
mit Spitze = $2 d$.



5,8/7,8Da.

Kegelstumpf-
Pfahlform,
mit Spitze = $1 d$.

Die Frage bezw. Aufgabe, deren Lösung wir durch die angestellten Versuche näherkommen wollen, sei in folgender Weise gestellt:

Gesucht:

Die Tragfähigkeit der Pfähle in ihren Beziehungen zu den gegebenen Größen und zur Eindringungstiefe und Schlagzahl (Rammarbeit).

Außerdem:

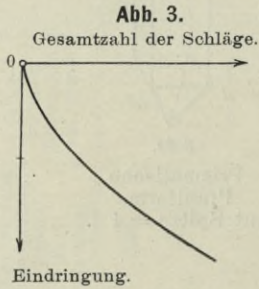
Wirtschaftlichste Pfahlform, d. h. billigster Pfahl bei größter Tragfähigkeit und kleinster Rammarbeit.

Besondere Eigenschaften der Pfahlformen beim Rammen.

Beobachtet:

I. Dynamischer (Ramm-) Vorgang

mittels der aufgenommenen Rammkurven (Abb. 8 bis 16).



Beispiel einer Kurve
der Abb. 8 bis 16.

30 mm. Die Wände waren mittels Zugseisen fest zusammengeschraubt;

Zur Erforschung der tatsächlichen Wirkungsweise gerammter Pfähle im und auf das umgebende Erdreich wurden die nachfolgend beschriebenen Versuche angestellt.

Die Abb. 4 zeigt die zu diesem Zwecke gebaute Vorrichtung. Dieselbe hat folgende Hauptteile:

1. Eine Holzkiste mit auseinandernehmbaren Wänden von einer inneren lichten Höhe von 1,19 m, einer lichten Breite von 1,15 m und einer lichten Tiefe von 0,93 m. Die Brettstärke beträgt

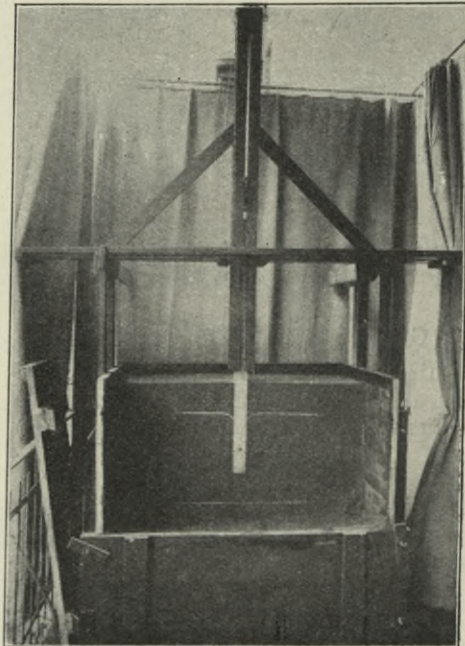


Abb. 4.

Allgemeine Versuchsanordnung.

Stumpfer prismatischer Pfahl eingerammt.

Sand bis Vorderkante Pfahl abgeschnitten.

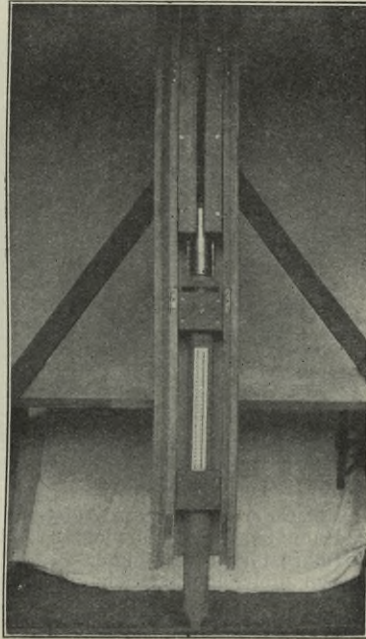
Abmessungen des in der Holzkiste gestampften Erdkörpers sind meist: 1,10 m hoch, 1,15 m breit und 0,93 m tief = rd. 1,18 m³.

2. eine senkrechte Führungsrinne von 2,17 m Höhe zur Aufnahme des Pfahles und des Rammjärens (die Führungsrinne — innen quadratisch — ist zum Aufklappen der Vorderwand mit Scharnieren versehen [Abb. 5] und ruht auf wagerechten Brettern, die mit verstellbaren Eisenschrauben auf seitliche Holme fest aufgedrückt wurden);

Abb. 5.

Führungsrinne geöffnet,
spitzer zylindrischer Pfahl
zum Rammen gerichtet.

Rammjäär mit Führungs-
leisten.



3. Pfahl aus Buchenholz (vergl. Zusammenstellung der Versuchspfähle Spalte 2 bis 7).

4. Rammjäär aus abgedrehten 60 mm Durchm. haltenden Rundeisen, versehen mit einem Ring oben zur Aufnahme der Schnur. Der Jäär konnte in 3 Teile zerlegt und jeder Teil für sich zum Rammen benutzt werden.

($\frac{3}{3}$) Großes Gewicht . . . 3920 g,

($\frac{2}{3}$) Mittleres Gewicht . . . 2610 g,

($\frac{1}{3}$) Kleines Gewicht . . . 1280 g.

Später erhielt der Jäär seitliche Nasen zu seiner Führung und die Führungsrinne entsprechende Nuten;

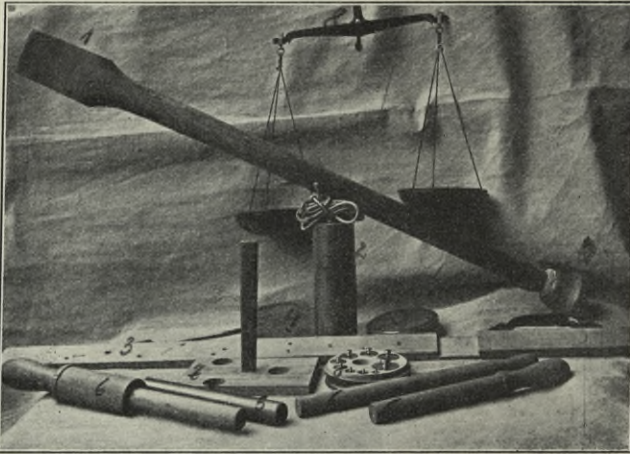
5. hölzerne Lehre, um jeweils die gleiche Fallhöhe zu erzielen;

6. eiserner Stift aus Rundeisen mit Oese und Rolle, am obersten Ende der Führungsrinne zum Aufziehen des Rammjärens angebracht.

Die zu den Versuchen weiter benötigten Werkzeuge sind auf Abb. 6 dargestellt und beschrieben.

Abb. 6.

Die bei den Versuchen benutzten Hilfswerkzeuge.



1. Hölzerner Stößel zum Aufstampfen des Sandes.
2. Rammjäre Nr. II, Gewicht 3,920 kg, Durchm. 6 cm, Länge 180 mm.
3. Lehre für die Fallhöhe.
4. Schüffelchen zum Schneiden und Glätten des Sandes.
5. Zugeschärftes Messingrohr zur Entnahme von Erdgewichtsproben.
6. Rundhölzer zum Ausstoßen der Probekörper.
7. Holzform, winkelrecht gegen den Sand gepreßt, zwecks leichterer Entnahme von Erdproben.
8. Wage.
9. Gewichte.

Der Sand — Grubensand aus der Rheinebene bei Ettlingen — zeigte feines Korn und enthielt tonige Bindemittel. Er war zunächst durch ein Drahtnetz von 11 bis 12 mm Maschenweite geworfen und daher bei den Vorversuchen reichlich mit kleinen Steinchen durchsetzt. Später war der Sand durch ein Sieb mit $4/4$ mm Maschenweite und bei den weiteren Versuchen wiederholt durch ein solches von $1,2/1,2$ mm Maschenweite gesiebt.

In die Kiste wurde nun durch einen gelernten Former aus der Formerei einer Maschinenfabrik mit einem Stößel von

1,750 kg Gewicht und der auf Abb. 6 ersichtlichen Form aus Holz mit eisernem Fuße in horizontalen 50 mm hohen Lagen — jede Lage zuerst mit dem hölzernen Ende und dann mit dem eisernen Fuß — der Sand fest und gleichmäßig eingestampft.

Zur Ermittlung der für die Rammung erforderlichen Dimensionen der Pfähle, des Rammbürgewichts und der Fallhöhe wurde auf Grund von in der Praxis ausgeführten Rammarbeiten, wie beispielsweise in den königlichen Anlagen in Stuttgart, durch vergleichende Ansätze mit den daselbst gefundenen Werten die für die Rammungen verwendeten Pfahldimensionen, Rammbürgewichte und Fallhöhen festgelegt.³⁾

Das Ziehen des Pfahles als Funktion der Schläge und der jeweiligen Pfahlstellung (eingedrungene Pfahllänge). Abb. 8 bis 16.

Auf allen Abbildungen sind die nachstehenden Linienzüge gewählt:

Pfähle von der Form (ohne Spitze):
Prismatisch



ausgezogen:

Pfähle von der Form (ohne Spitze):
Zylindrisch



strichpunktiert:

³⁾ Die Fallhöhe h und das Bürgewicht R wurde bei meinen Rammversuchen wie folgt ermittelt.

Aus den Rammprotokollen der von der Firma Wayss & Freytag in den königlichen Anlagen in Stuttgart gerammten Pfählen wurde aus etwa 22 Rammungen daselbst das Bürgewicht mit 2500 kg, die Fallhöhe mit 180 cm und das Pfahlgewicht mit 3300 kg als Durchschnittswert gefunden. Nun wurde das Gewicht verschiedener Formen eines Versuchspfahles (mit Querschnitt 6/6 cm und desgl. mit 3 cm Duchm.) berechnet und die Bürgewichte nach dem Erfahrungssatz, daß das Bürgewicht annähernd gleich dem Pfahlgewicht sein soll, gewählt.

Aus der Beziehung

$$R_1 h_1 : Q_1 = R h : Q,$$

wo R_1 = Bürgewicht des großen Bären = 2500 kg,

h_1 = Fallhöhe desselben = 180 cm,


Q_1 = Gewicht des großen Pfahles = 3300 kg,


R = Gewicht des Versuchsrammbären,

h = Fallhöhe desselben,

Q = Gewicht des Versuchspfahles,

wurde durch Kombinieren der Versuchspfahlgewichte und entsprechender Rammbären mit verschiedenen Fallhöhen und Einsetzen dieser Werte in obige Gleichung die für die Versuche gewählten Dimensionen bestimmt und gefunden.

Pfähle von der Form (ohne Spitze):
Vierseitiger Pyramidenstumpf  lang gestrichelt: -----

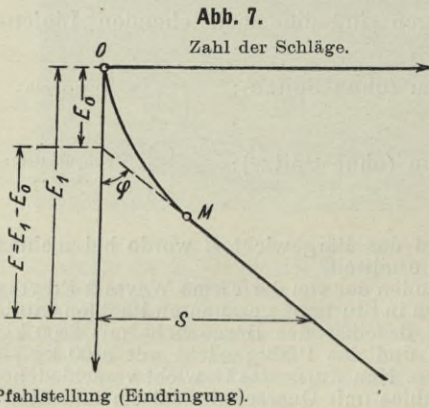
Pfähle von der Form (ohne Spitze):
Kegelstumpf  kurz gestrichelt: -----

Die verschiedenen Pfahlspitzen kommen in den Abbildungen nicht besonders zum Ausdruck.

Wo nichts anderes bemerkt, ist allen Vergleichszahlen stets eine Rammtiefe von 700 mm zugrunde gelegt.

Folgerungen aus den Abb. 8 bis 16.

Auf diesen Abbildungen sind meist Rammkurven von Pfählen mit annähernd demselben Rauminhalt V (bei einer Rammtiefe von 700 mm) aufgezeichnet und verglichen. Bei einigen Abbildungen trifft dies nicht zu, was darauf vermerkt ist.



Die charakteristischen Rammkurven sind auf besonderen Abbildungen dargestellt und unterscheiden sich durch klein a bzw. b in der Numerierung. Der Rauminhalt V der Pfähle und der Wert der Tangente des Winkels φ bei einer Eindringung des Pfahles von 700 mm ist dort angeschrieben.

Der Winkel φ wird durch die in der Eindringungstiefe E_1 (hier = 700 mm) an die Rammkurve gezogene Tangente und die Ordinatenachse (Pfahlstellung) gebildet. Die Tangente dieses Winkels hat den Wert

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\text{Schlagzahl}}{\text{Eindringung}} = \frac{S}{E}$$

(wo $E = E_1 - E_0$ ist). Siehe Abb. 7 u. 8a.

Die Rammkurve der Pfahlformen A und B ist in dem ersten Verlauf ihrer Eindringung nach unten konvex gekrümmt. Nach tieferer Eindringung geht diese Kurve allmählich in eine Gerade über und verläuft mit den weiteren Rammschlägen annähernd geradlinig nach rechts unten.

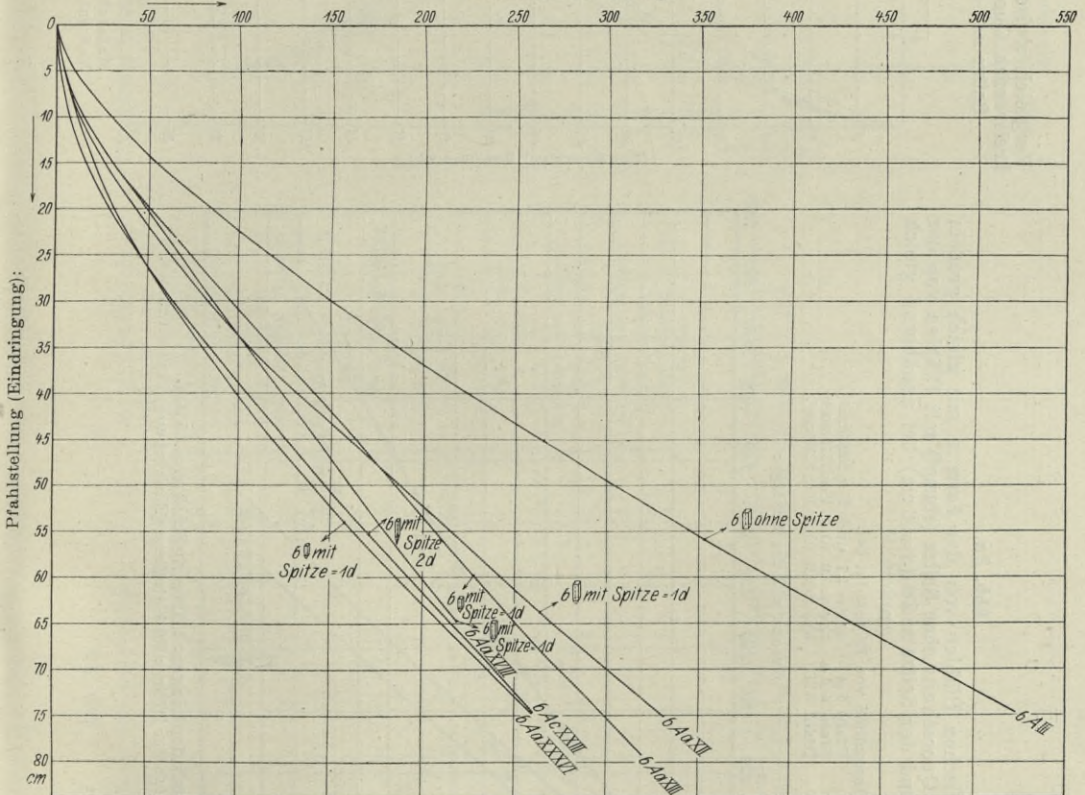
Der Punkt des Uebergangs von der Kurve in eine annähernd gerade Linie wurde mit M bezeichnet (Abb. 7 u. 8 bis 16). Der Verlauf der Rammkurve kann von M ab genügend genau als Gerade angesehen werden, welche mit der Ordinatenachse den Winkel φ bildet. Zu beachten ist, daß die Kurven der Pfahlformen A und B von dem Punkt M ab einen flacheren Verlauf haben als die der Formen Aa , Ac , Ba und Bc (vergl. die Abb. 8, 8a; 9, 9a).

Das Ziehen als Funktion der Schläge und der jeweiligen Pfahlstellung (eingedrungene Pfahlänge).

Abb. 8.

Vergleich zwischen Pfählen von der Form A mit gleich großem quadratischen Querschnitt ohne Spitze (stumpf) mit Pfählen von der Spitze $= 1d$ und der Spitze $= 2d$ ($d = 6$ cm) bei annähernd gleich großem V .

Gesamtzahl der Schläge:

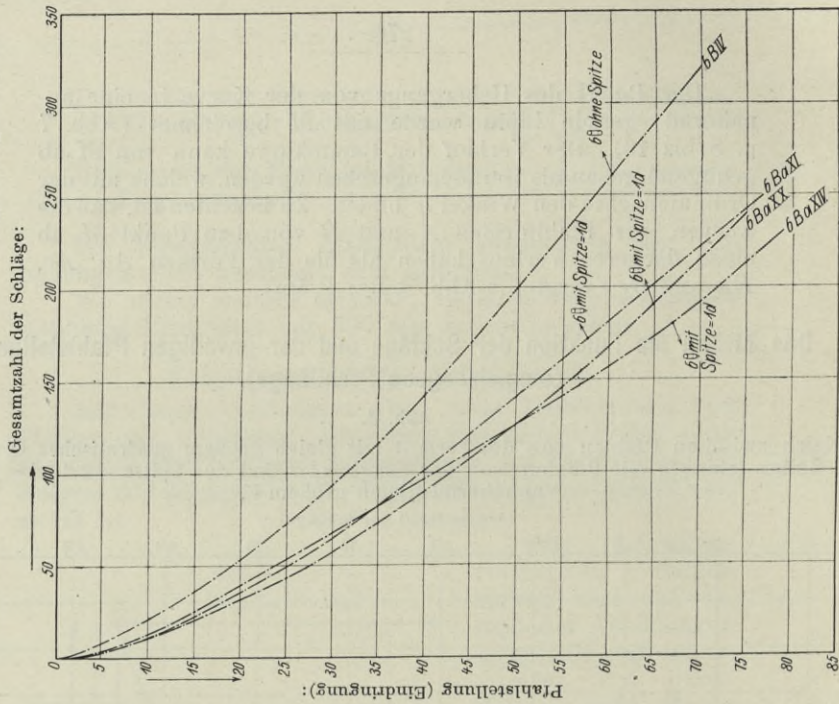


Maßstab der Längen: 1 Schlag = 1 mm.

Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 5 mm.

Abb. 9.

Vergleich zwischen Pfählen von der Form **B** mit gleich großem kreisrunden Querschnitt ohne Spitze (stumpf) mit Pfählen von der Spitze = $1d$ ($d = 6$ cm) bei annähernd gleich großem V .

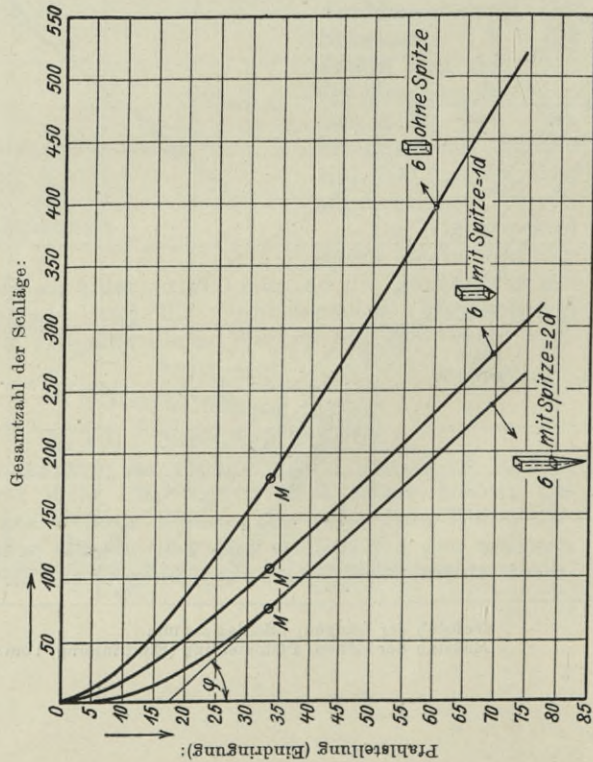


Maßstab der Längen: 1 Schlag = 1 mm.
Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 5 mm.

Abb. 8 a.

Vergleich zwischen Pfählen von der Form **A** mit gleich großem quadratischen Querschnitt ohne Spitze (stumpf) mit Pfählen von der Spitze = $1d$ und der Spitze = $2d$ ($d = 6$ cm) bei annähernd gleich großem V .

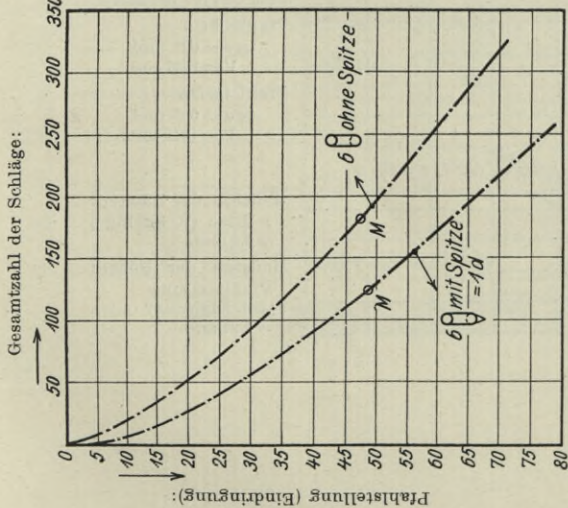
Bei einer Rammtiefe von 700 mm ist bei:
 Pfahl 6 A $fg, \varphi = 1,7$ und $V = 2520$ cm³
 Pfahl 6 A a $fg, \varphi = 1,0$ und $V = 2376$ cm³
 Pfahl 6 A c $fg, \varphi = 0,9$ und $V = 2232$ cm³.



Maßstab der Längen: 1 Hitzte (10 Schläge) = 2,5 mm.
Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 1,25 mm.

Abb. 9 a.

Vergleich zwischen Pfählen mit annähernd gleich großem V und den Pfahlformen A und B mit der Spitze $= 1d$.



Vergleich zwischen Pfählen mit annähernd gleich großem V und den Pfahlformen A und B mit der Spitze $= 1d$ (d = 6 cm) bei annähernd gleich großem V .

Bei einer Ramm-tiefe von 700 mm ist bei Pfahl 6 B

$tg \varphi = 1,3$ und $V = 1979 \text{ cm}^3$

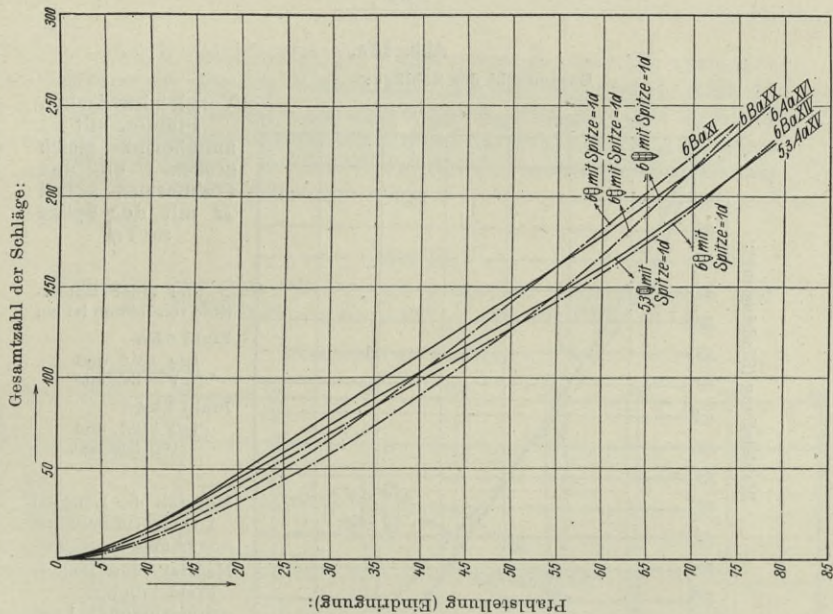
Pfahl 6 B a $tg \varphi = 0,9$ und $V = 1866 \text{ cm}^3$.

Maßstab der Längen: 1 Hitz (10 Schläge) = 2,5 mm.

Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 1,25 mm.

Abb. 10.

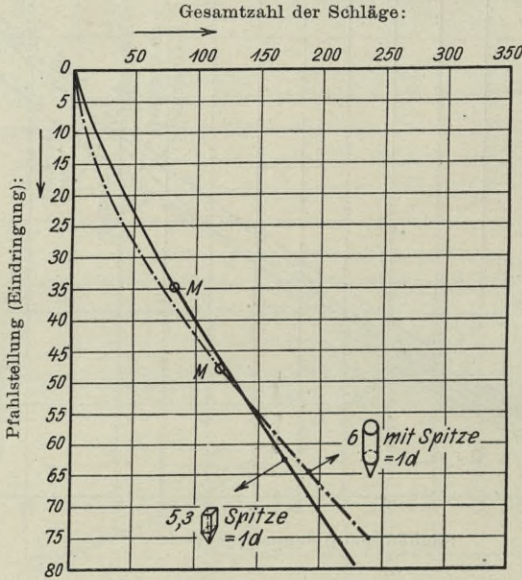
Vergleich zwischen Pfählen mit annähernd gleich großem V und den Pfahlformen A und B mit der Spitze $= 1d$.



Maßstab der Längen: 1 Schlag = 1 mm.
Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 5 mm.

Auf Abb. 10 u. 10 a sehen wir ein Ueberschneiden der Rammkurve der Form 6 B a über die der Form 5,3 A a.

Abb. 10a.

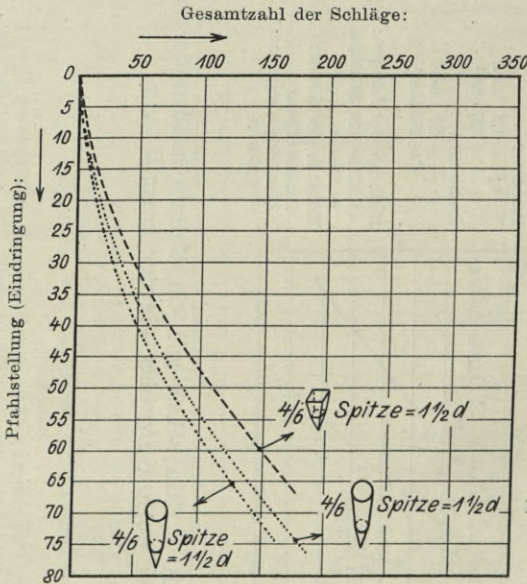


Vergleich zwischen Pfählen mit annähernd gleich großem V und den Pfahlformen **A** und **B** mit der Spitze $= 1d$.

Bei einer Rammtiefe von 700 mm ist bei Pfahl 6 B a
 $\text{tg } \varphi = 0,9$ und $V = 1866 \text{ cm}^3$
 Pfahl 5,3 A a
 $\text{tg } \varphi = 0,7$ und $V = 1882 \text{ cm}^3$.

Maßstab der Längen: 1 Hitz (10 Schläge) = 2,5 mm.
 Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 1,25 mm.

Abb. 10b.



Vergleich zwischen Pfählen mit der Form **C** und **D** mit der Spitze $= 1\frac{1}{2}d$ bei verschieden großem V .

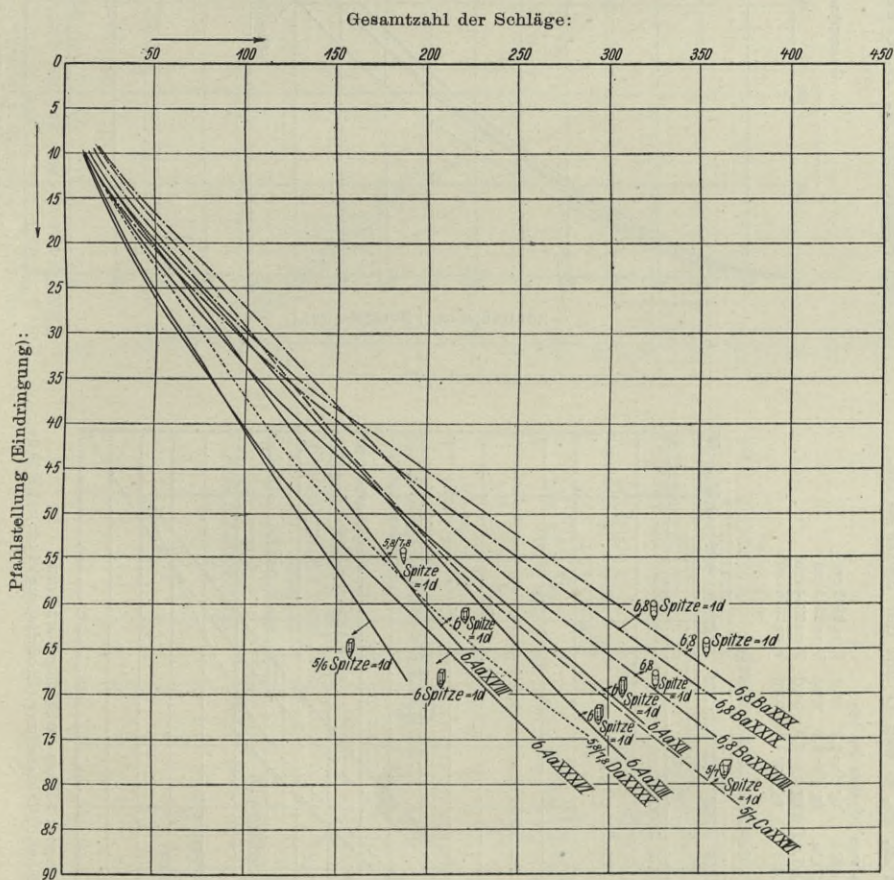
Bei einer Rammtiefe von 700 mm ist bei Pfahl 4/6 C b
 $\text{tg } \varphi = 0,9$ und $V = 1547 \text{ cm}^3$
 Pfahl 4/6 D b
 $\text{tg } \varphi = 0,8$ und $V = 1212 \text{ cm}^3$.

Maßstab der Längen: 1 Hitz (10 Schläge) = 2,5 mm.
 Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 1,25 mm.

Auch die Kurven der Pfahlformen *Ba* und *Bc* verlaufen flacher als die der Pfahlformen *Aa* und *Ac* (vergl. Abb. 11 bis 14). Besonders charakteristisch tritt dies auf Abb. 15 u. 15a zutage, wo auch die Kurven der Pfahlform 6 *Aa* flacher verlaufen als die der Pfahlform 6,8 *Bc*, wobei die Einwirkung der Form der Spitze sich zeigt.

Abb. 11.

Vergleich zwischen Pfählen mit annähernd gleich großem *V* und den Pfahlformen *A*, *B*, *C* und *D* mit der Spitze = *1d*.



Maßstab der Längen: 1 Schlag = 1 mm.

Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 5 mm.

Abb. 11a.

Vergleich zwischen Pfählen mit annähernd gleich großem V und den Pfahlformen A, B, C und D mit der Spitze $= 1d$.

Bei einer Rammtiefe von 700 mm ist bei
 Pfahl 6,8Ba $tg\varphi = 1,2$ und $V = 2892 \text{ cm}^3$
 Pfahl 5,7Ca $tg\varphi = 1,2$ und $V = 2843 \text{ cm}^3$
 Pfahl 5,8,7,8Da $tg\varphi = 1,3$ und $V = 2814 \text{ cm}^3$
 Pfahl 6,4Aa $tg\varphi = 1,1$ und $V = 2876 \text{ cm}^3$.

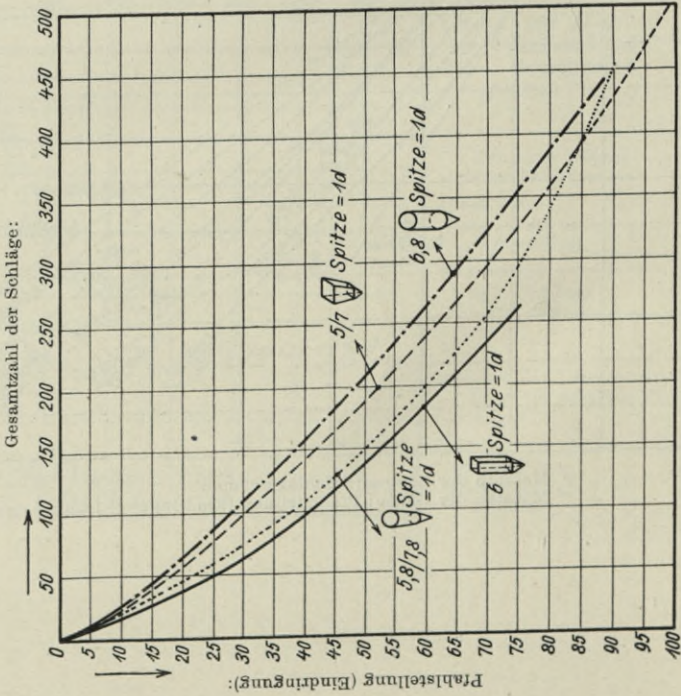


Abb. 12.

Vergleich zwischen Pfählen mit annähernd gleich großem V und den Pfahlformen A, B, C und D , jedoch mit der Spitze $= 2d$.

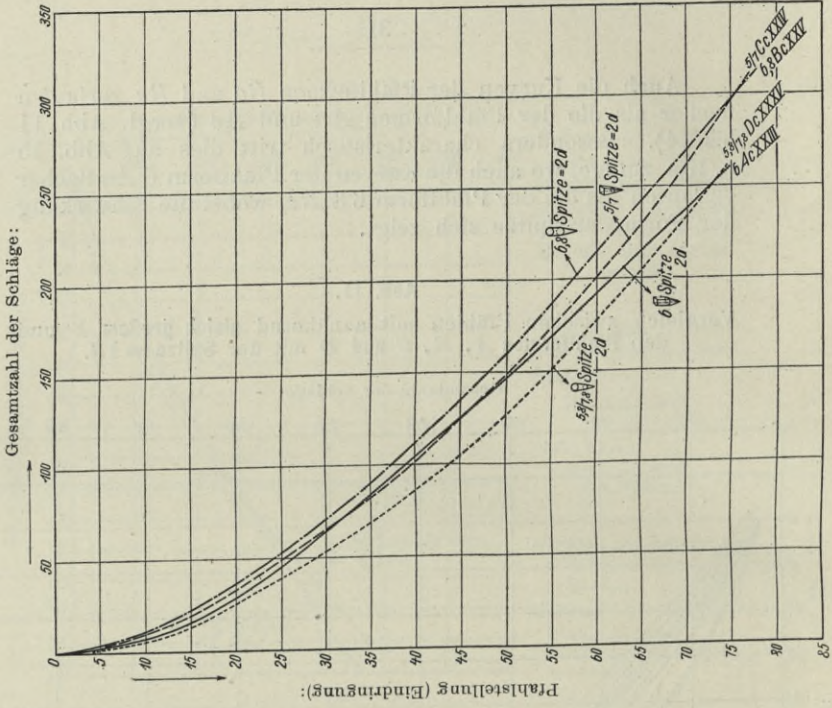
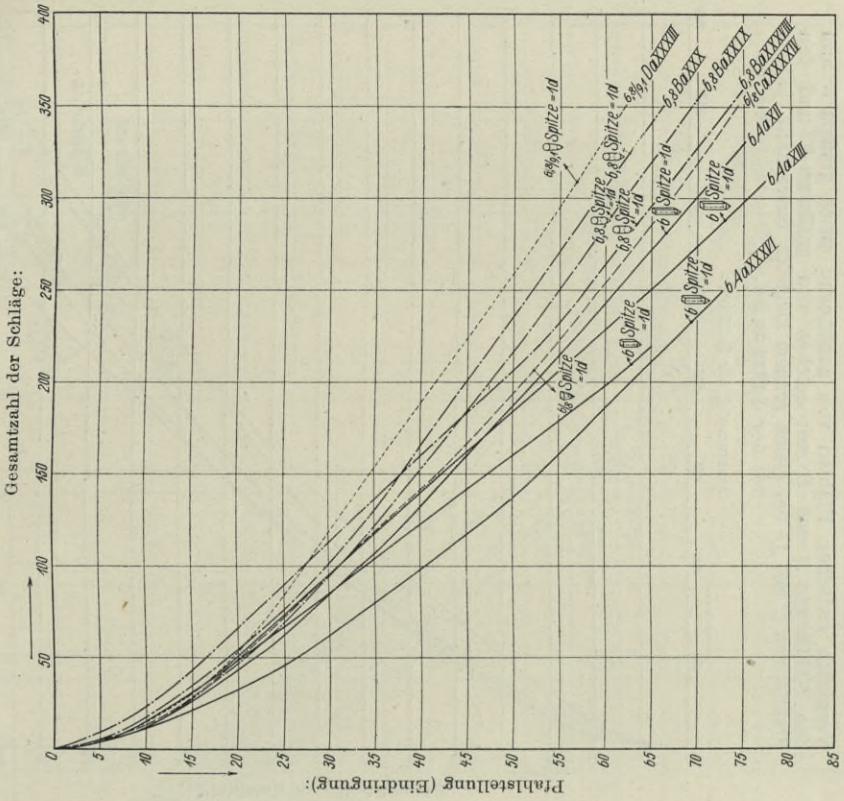


Abb. 13.

Vergleich zwischen Pfählen von annähernd gleich großem V und den Pfahlformen A und B mit solchen von größerem V und den Pfahlformen C und D bei gleich großem kleinsten Querschnitt und der Spitze $= 1d$.



Maßstab der Längen: 1 Schlag = 1 mm.
 Meßstab der Höhen: Pfählestellung (Eindringung) 1 cm = 5 mm.

Vergleich zwischen Pfählen mit annähernd gleich großem V und den Pfahlformen A , B , C und D , jedoch mit der Spitze $= 2d$.

- Bei einer Rammtiefe von 100 mm ist bei
- Pfahl 6,8 Bc $tg \psi = 1,2$ und $V = 2228 \text{ cm}^3$
 - Pfahl 5/7 Cc $tg \psi = 1,3$ und $V = 2119 \text{ cm}^3$
 - Pfahl 6,4 C $tg \psi = 0,9$ und $V = 2282 \text{ cm}^3$
 - Pfahl 5,8/7,8 Dc $tg \psi = 1,3$ und $V = 2144 \text{ cm}^3$

Maßstab der Längen: 1 Hitz (10 Schläge) = 2,5 mm.
 Maßstab der Höhen: Pfählestellung (Eindringung) 1 cm = 1,25 mm.

Abb. 12 a.

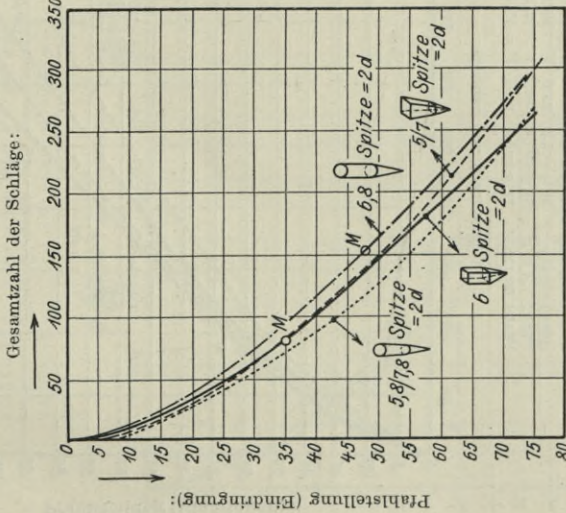
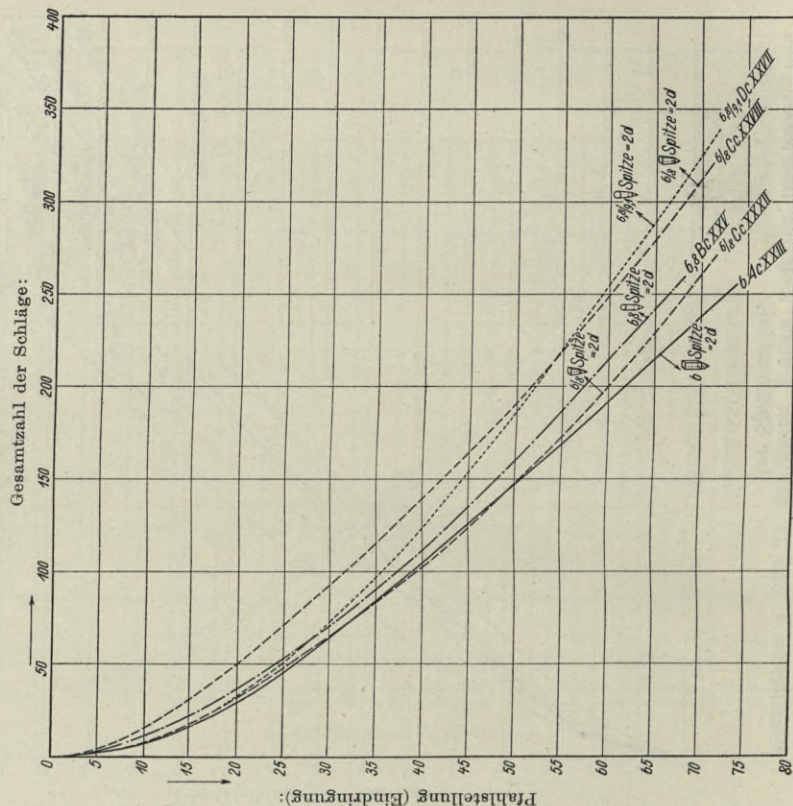


Abb. 14.

Vergleich zwischen Pfählen von annähernd gleich großem V und den Pfahlformen *A* und *B* mit solchen von größerem V und den Pfahlformen *C* und *D* bei gleich großem kleinsten Querschnitt, jedoch mit der Spitze $= 2d$.

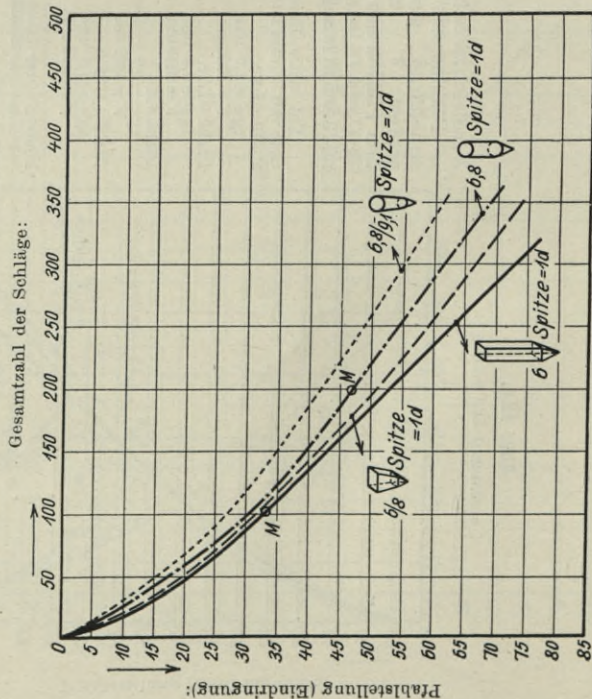


Maßstab der Längen: 1 Schlag = 1 mm.
Maßstab der Höhen: Prahlstellung (Eindringung) 1 cm = 5 mm.

Abb. 13a.

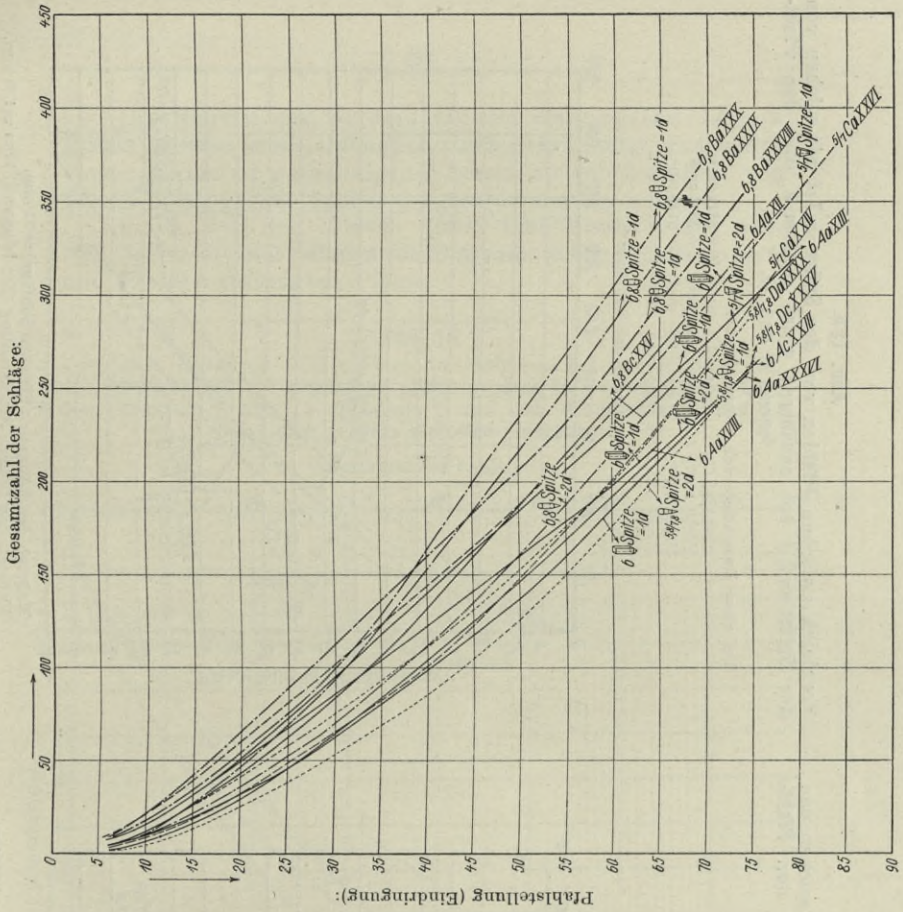
Vergleich zwischen Pfählen von annähernd gleich großem V und den Pfahlformen *A* und *B* mit solchen von größerem V und den Pfahlformen *C* und *D* bei gleich großem kleinsten Querschnitt und der Spitze $= 1d$.

Bei einer Rammtiefe von 700 mm ist bei
 Pfahl 6/8 *A* $\text{tg } \varphi = 1,6$ und $V = 3178 \text{ cm}^3$
 Pfahl 6/8 *B* $\text{tg } \varphi = 1,3$ und $V = 2892 \text{ cm}^3$
 Pfahl 6/8 *C* $\text{tg } \varphi = 1,0$ und $V = 2876 \text{ cm}^3$
 Pfahl 6/8 *D* $\text{tg } \varphi = 1,4$ und $V = 3146 \text{ cm}^3$.



Maßstab der Längen: 1 Hitz (10 Schläge) = 2,5 mm.
Maßstab der Höhen: Prahlstellung (Eindringung) 1 cm = 1,25 mm.

Abb. 15.
Vergleich zwischen Pfählen von der Spitze = 1d mit solchen von der Spitze = 2d bei annähernd gleich großem V und den Pfahlformen A, B, C und D.

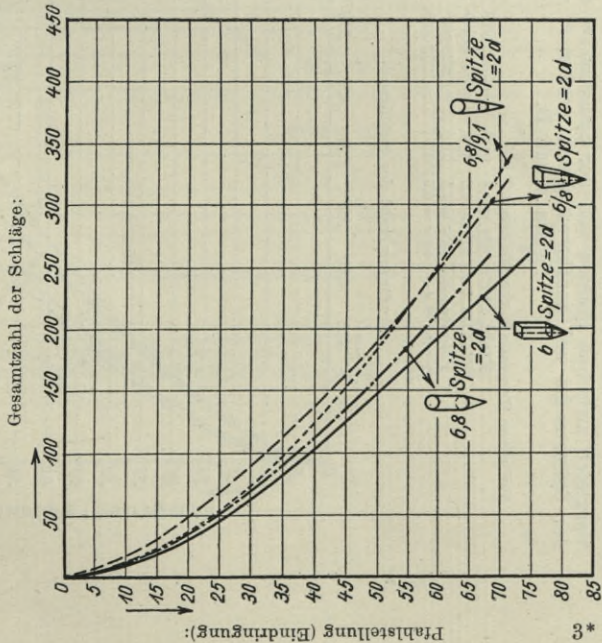


Maßstab der Längen: 1 Schlag = 1 mm.
Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 5 mm.

Abb. 14a.

Vergleich zwischen Pfählen von annähernd gleich großem V und den Pfahlformen A und B mit solchen von größerem V und den Pfahlformen C und D bei gleich großem kleinsten Querschnitt, jedoch mit der Spitze = 2d.

Bei einer Rammtiefe von 700 mm ist bei
 Pfahl 6,8Cc $tg\ \varphi = 1,3$ und $V = 2867\text{ cm}^3$
 Pfahl 6,8/9,1Dc $tg\ \varphi = 1,5$ und $V = 2846\text{ cm}^3$
 Pfahl 6,8Bc $tg\ \varphi = 1,1$ und $V = 2226\text{ cm}^3$
 Pfahl 6,8Ac $tg\ \varphi = 0,9$ und $V = 2232\text{ cm}^3$.

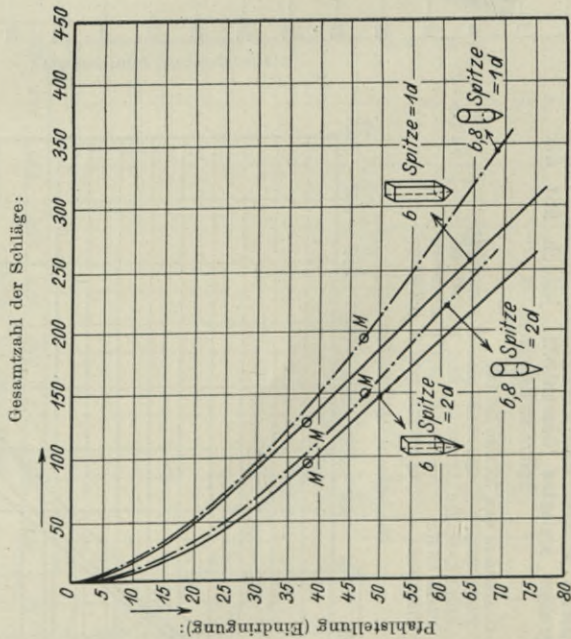


Maßstab der Längen: 1 Hitz (10 Schläge) = 2,5 mm.
Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 1,25 mm.

Abb. 15 a.

Vergleich zwischen Pfählen von der Spitze = 1d mit solchen von der Spitze = 2d bei annähernd gleich großem V und den Pfahlformen A und B.

Bei einer Rammtiefe von 700 mm ist bei
 Pfahl 6,8Ba $tg\varphi = 1,3$ und $V = 2392 \text{ cm}^3$
 Pfahl 6Aa $tg\varphi = 1,0$ und $V = 2376 \text{ cm}^3$
 Pfahl 6,8Bc $tg\varphi = 1,1$ und $V = 2226 \text{ cm}^3$
 Pfahl 6Ac $tg\varphi = 0,9$ und $V = 2232 \text{ cm}^3$.

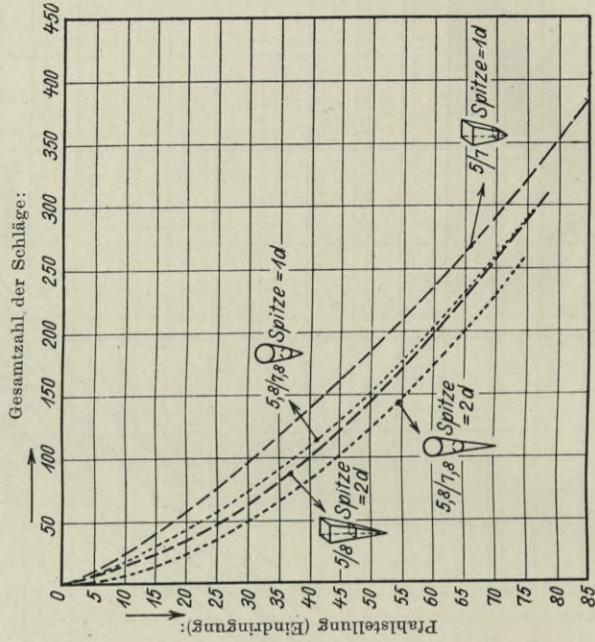


Maßstab der Längen: 1 Hitze (10 Schläge) = 2,5 mm.
 Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 1,25 mm.

Abb. 15 b.

Vergleich zwischen Pfählen von der Spitze = 1d mit solchen von der Spitze = 2d bei annähernd gleich großem V und den Pfahlformen C und D.

Bei einer Rammtiefe von 700 mm ist bei
 Pfahl 5/7Ca $tg\varphi = 1,2$ und $V = 2343 \text{ cm}^3$
 Pfahl 5,8/7,8Da $tg\varphi = 1,3$ und $V = 2344 \text{ cm}^3$
 Pfahl 5/7Cd $tg\varphi = 1,3$ und $V = 2119 \text{ cm}^3$
 Pfahl 5,8/7,8Dc $tg\varphi = 1,1$ und $V = 2144 \text{ cm}^3$.



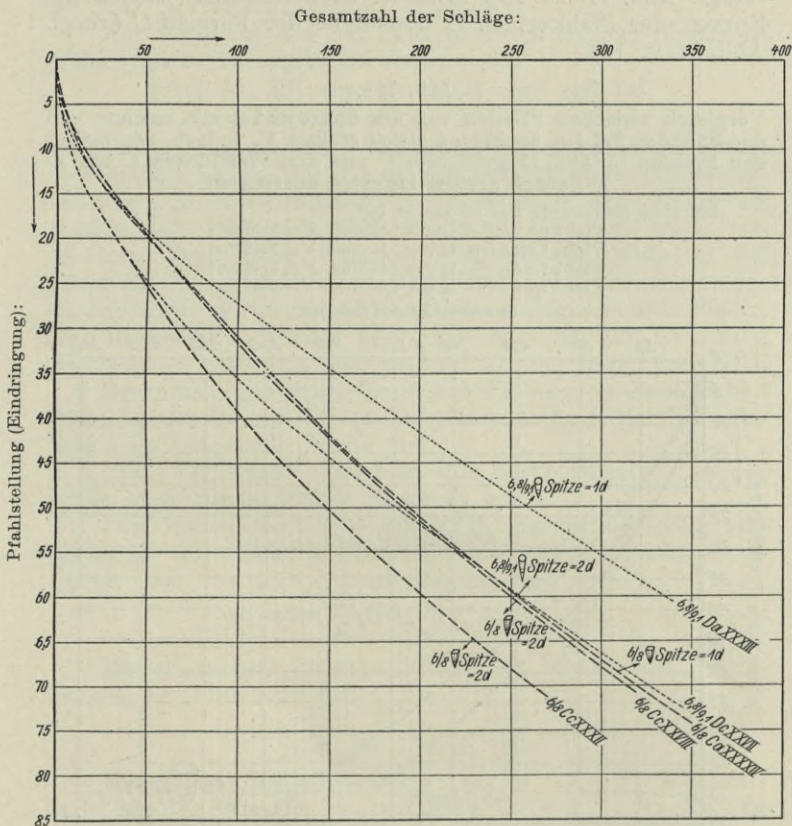
Maßstab der Längen: 1 Hitze (10 Schläge) = 2,5 mm.
 Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 1,25 mm.

Die Kurven der prismatischen und zylindrischen Pfähle nehmen somit anfänglich einen gekrümmten und später einen annähernd geradlinigen Verlauf, so daß dieselben von *M* ab durch gerade Linien dargestellt werden können.

Einen von den Kurven dieser Pfahlformen völlig verschiedenen Verlauf nehmen die Diagramme der Pfahlformen *C* und *D*, der verjüngten Pfähle.

Abb. 16.

Vergleich zwischen Pfählen von der Spitze = $1d$ mit solchen von der Spitze = $2d$ bei annähernd gleich großem V , jedoch gegenüber den Pfählen in Abb. 15 größerem V und den Pfahlformen *C* und *D* bei gleich großem kleinsten Querschnitt.



Während wir gesehen haben, daß die Kurven der Formen *A* und *B*, der prismatischen und zylindrischen Pfähle nach einer gewissen Eindringungstiefe eine annähernd gerade Linie zeigen, verlaufen die Diagramme der Formen *C* und *D* mehr parabolisch, d. h. die $\text{tg } \varphi$ der Pfahlformen *A* und *B* haben in den verschiedenen Pfahlstellungen von einer gewissen Eindringungstiefe an annähernd gleichbleibende Werte gegenüber den rasch wechselnden und bei größerer Rammtiefe größer werdenden Werten von $\text{tg } \varphi$ der Formen *C* und *D*.

Die Kurven der letzteren Formen überschneiden in ihrem weiteren Verlauf die Kurven der Formen *A* und *B* (vergl. Abb. 11 bis 12). Hierbei überschneiden wieder die Kurven der Pfahlformen *D* diejenigen der Formen *C* (vergl. Abb. 11 u. 16).

Abb. 16 a.

Vergleich zwischen Pfählen von der Spitze = $1d$ mit solchen von der Spitze = $2d$ bei annähernd gleich großem V , jedoch gegenüber den Pfählen in Abb. 15 größerem V und den Pfahlformen *C* und *D* bei gleich großem kleinsten Querschnitt.

Bei einer Rammtiefe von 700 mm ist bei

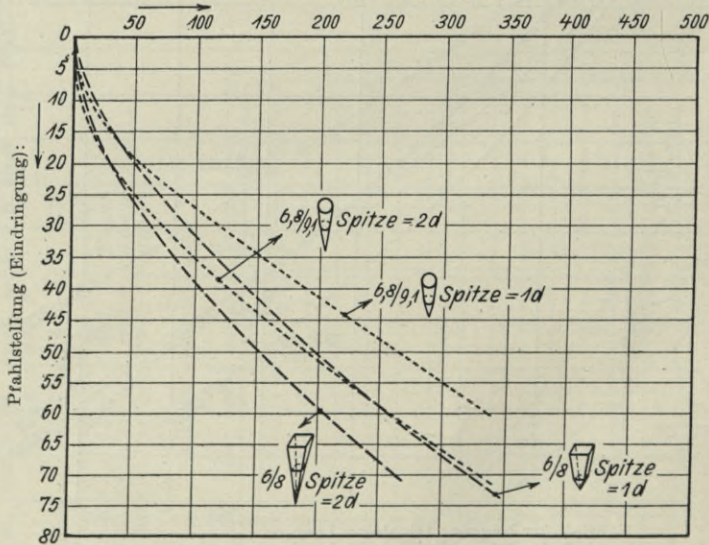
Pfahl 6,8/9,1 *Da* $\text{tg } \varphi = 1,6$ und $V = 3178 \text{ cm}^3$

Pfahl 6,8/9,1 *Dc* $\text{tg } \varphi = 1,5$ und $V = 2846 \text{ cm}^3$

Pfahl 6/8 *Ca* $\text{tg } \varphi = 1,4$ und $V = 3146 \text{ cm}^3$

Pfahl 6/8 *Cc* $\text{tg } \varphi = 1,3$ und $V = 2867 \text{ cm}^3$.

Gesamtzahl der Schläge:



Maßstab der Längen: 1 Hitze (10 Schläge) = 2,5 mm.

Maßstab der Höhen: Pfahlstellung (Eindringung) 1 cm = 1,25 mm.

Die Kurven der verjüngten Pfähle, die ein größeres Volumen haben als die prismatischen und zylindrischen Pfähle, zeigen schon aus diesem Grunde einen anderen (flacher gekrümmten) Verlauf als die Kurven der Pfähle der Form *A* und *B* (vergl. Abb. 13 bis 14).

Abb. 8 u. 8a.

Zu Pfahl 6 *Aa* Nr. XII und XIII.

Aus den Rammdiagrammen der Pfähle 6 *A* (Abb. 8) ist zu ersehen, daß die Kurve vom Pfahl Nr. XII einen flacheren Verlauf hat als die Kurven der anderen Pfähle 6 *Aa*, d. h. daß Pfahl Nr. XII eine größere Rammarbeit als die Pfähle 6 *Aa* Nr. XIII, XVIII und XXXVI erforderte.

Ein Vergleich aus der Zusammenstellung der Versuchspfähle Spalte 13 ergibt bei dem

Pfahl Nr. XII ein $A = 1000$ mkg und bei

„ „ XIII „ $A = 910$ „

Pfahl Nr. XII ist nun zuletzt in eine Kiste gerammt, in der bereits vier andere Pfähle vor ihm eingerammt waren (s. Zusammenstellung der Versuchspfähle O. Z. 4 bis 6 und 18 bis 19, Spalte 15). Pfahl Nr. XIII wurde in eine noch nicht verdichtete Erde beim Rammen eingetrieben, während bei Pfahl Nr. XII die Erde in der Kiste teilweise schon verdichtet war durch die anderen schon eingerammten Pfähle. Der Unterschied beträgt 10 %, da Pfahl Nr. XII 1000 mkg Rammarbeit erfordert hat gegen 910 mkg von Pfahl XIII.

Besonders gut zeigt diese Mehrleistung an Rammarbeit Pfahl 3 *A* Nr. VI und VII (s. Zusammenstellung der Versuchspfähle O. Z. 1 bis 3, Spalte 15).

Pfahl VII wurde zuletzt in eine Kiste gerammt, in der schon zwei andere Pfähle gerammt waren.

Die Rammarbeit von Pfahl VII beträgt 341 mkg und diejenige von Pfahl VI 310 mkg, also ebenfalls wieder ein Unterschied von 10 % in der Rammarbeit.

Abb. 9 u. 9a.

Bemerkenswert ist der gleichmäßige Verlauf der Schaukurven der Pfahlform 6 *Ba*.

Abb. 10, 10a u. 10b.

Die Kurve des achteckigen Pfahles 6 *Aa* Nr. XVI verläuft ähnlich wie die des runden Pfahles 6 *Ba* Nr. XI, da der Umfang des achteckigen Pfahles sich am meisten dem des runden nähert; auch die Kurve des quadratischen Pfahles

Nr. XV 5,3 *Aa* verläuft ähnlich der des zylindrischen Pfahles 6 *Ba* Nr. XIV, da beide am gleichen Versuchstage und im gleichen Sande nacheinander in einer Kiste gerammt sind; dagegen wurde der gleiche Pfahl 6 *Ba* Nr. XI und XX bei durchgesiebtem Material in neu aufgestampftem Boden an einem anderen Versuchtag gerammt.

Auf Abb. 10b sind Rammkurven von der Pfahlform 4/6 *Cb* u. 4/6 *Db*, d. h. mit quadratischem und kreisrundem Querschnitt, aufgezeichnet.

Betrachtet man das Verhältnis von dem Volumen V zu den Rammarbeiten A beider Pfahlformen, so hat

der Pfahl 4/6 *Cb* ein $V_1 = 1547$ ccm und ein $A_1 = 620$ mkg
und „ „ 4/6 *Db* „ $V_2 = 1212$ „ „ „ $A_2 = 486$ „

Daraus ergibt sich $\frac{1547}{1212} = \frac{620}{486} = 1,27$, d. h. es ist

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{A_1}{A_2}.$$

(Die Rammarbeiten A finden sich in der Zusammenstellung der Versuchspfähle Spalte 13, die Volumen V auf Abb. 10b.)

Aus den Belastungsproben, Abschnitt III, sehen wir, daß die zylindrischen Pfahlformen 6,8 *Ba* in einer Rammtiefe von 700 mm 230 kg mehr tragen als die prismatischen 6 *Aa*, das ist rund 30 % (von 730 kg) mehr.

Es ergibt sich nun die Frage: Erfordern die zylindrischen Pfähle auch soviel mehr Rammarbeit, d. h. sind die zylindrischen Pfähle wirtschaftlicher als die prismatischen Pfähle bei gleich großem Querschnitt bzw. gleich großem Volumen?

Die verm. Rammarbeit der Pfahlformen 6,8 *Ba* in einer Eindringungstiefe von 700 mm ist $A = 1172$ mkg, diejenige von 6 *Aa* $A = 901$ mkg (vermittelt aus Pfahl Nr. XII, XIII und XXXVI).

Die Pfahlformen 6,8 *Ba* erfordern daher auch etwa 30 % mehr an Rammarbeit als die Pfähle 6 *Aa*.

Es kann somit der Schluß gezogen werden, daß bei gleich großem Querschnitt bzw. V und gleich großer Eindringung die zylindrischen Pfähle mit Spitze = $1d$ mehr tragen als die prismatischen Pfähle mit Spitze = $1d$, daß sie jedoch auch ebensoviel mehr an Rammarbeit erfordern als erstere, d. h. die zylindrischen und prismatischen Pfähle sind wirtschaftlich gleich zu stellen, falls nicht besonders verschiedenartige Bedingungen (Kosten) für Herstellung und Rammen der Pfähle vorliegen.

Um wieviel Prozent sind nun die verjüngten Pfähle *C* bzw. *D* denen von der Form *A* und *B* überlegen, wenn wir wissen, daß letztere wirtschaftlich gleich zu erachten sind?

Es ergibt sich aus den Belastungsproben:

Pfahl 6 *Aa*: $T = 730$ kg und $A = 901$ mkg,

„ 5/7 *Ca*: $T = 1099$ „ „ $A = 842$ „

Dies ergibt eine Differenz der Werte von $T = 369$ kg und der Werte von $A =$ nur 59 mkg, d. h. ein verjüngter Pfahl von der Form *Ca* erfordert annähernd dieselbe Rammarbeit und trägt etwa 50 % mehr als der Pfahl von der Form *Aa*.

Weiter ergibt sich aus den Belastungsproben:

Pfahl 6,8 *Ba*: $T = 960$ kg und $A = 1172$ mkg,

„ 5,8/7,8 *Da*: $T = 1110$ „ „ $A = 859$ „

Dies ergibt eine Differenz der Werte von $T = 150$ kg und von $A = 313$ mkg, d. h. ein Pfahl von der Form *Da* erfordert rund 26 % weniger Rammarbeit und trägt rund 16 % mehr als ein Pfahl von der Form *Ba*. Derselbe Vergleich zeigt, daß ein Pfahl von der Form *Da* annähernd dieselbe Rammarbeit erfordert wie ein Pfahl von der Form *Aa*, jedoch 1,5 mal soviel trägt wie letzterer.

Der Pfahl 6/8 *Ca* Nr. XXXXIV wurde mit dem Rammbar Nr. 2 mit dem Gewicht = 3,920 kg und der Fallhöhe = 850 mm gerammt. Derselbe Pfahl wurde als Pfahl Nr. XXXXII mit dem Rammbar Nr. III mit dem Gewicht = 5,825 kg und der Fallhöhe = 850 mm gerammt.

Die Rammarbeit des ersteren Pfahles beträgt bei einer Rammtiefe von 700 mm, wenn

$$A \text{ (in mkg)} = \frac{\text{Fallhöhe} \cdot \text{Bärgewicht} \cdot \text{Schlagzahl}}{1000}$$

$$= \frac{850 \cdot 3,92 \cdot 318}{1000} = 1060 \text{ mkg, die des letzteren:}$$

$$\frac{850 \cdot 5,825 \cdot 218}{1000} = 1079 \text{ mkg. Die Größe der Rammarbeit}$$

ist also von dem Bärgewicht unabhängig (vergl. auch die Abb. 31 u. 33 mit Text).

Aus allen Versuchen, den gefundenen, zur Auftragung der Kurven benutzten Zahlenwerten und dem Vergleich mit den Koordinaten der mit stetiger Krümmung gezeichneten Kurven ergibt sich im Mittel ein Unterschied bzw. eine Fehlergrenze von rund 12 %, die ihre verschiedenen Ursachen hat.

Genauere Versuchsergebnisse würden erzielt durch:

1. Größeres Erdvolumen für die stärkeren Pfähle über 8 cm;
2. genau gleichen Feuchtigkeitsgrad der Erde bei allen Versuchen;
3. Erteilen der Schläge durch eine maschinelle Vorrichtung;
4. genau gleichen Rauigkeitsgrad der Pfahloberflächen;
5. genau zentrisches Rammen der Pfähle.

II. Das Absenkungs-, Verdrängungs- und Verdichtungsgebiet am fertig gerammten Pfahl.

Versuche auf neuer Grundlage.

Als Beobachtungsmittel bezw. Indikatoren, um die Wirkung des Rammvorganges auf das Erdreich dem Auge sichtbar und dem zahlenmäßigen Vergleiche zugänglich zu machen, wurden folgende Hilfsmittel benutzt:

1. Gleitlinien sind wagerechte, 2 bis 3 mm starke, auf den zuvor geglätteten Sand aufgebraute Schichten aus ungeschlämmter Kreide.

2. Merklinien bestehen aus meist wagerechten zylindrischen Hohlräumen, entsprechend dem Rauminhalt von Rundeisenstäben, die in den Sand in Pfahlmittlebene während des Aufstampfens eingelegt und vor dem Rammen des Pfahles aus der Kiste gezogen werden.

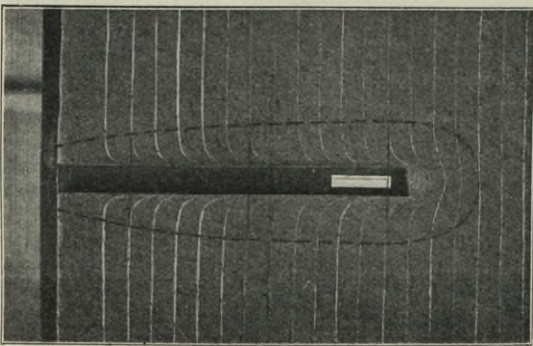
3. Gewichtskurven, gewonnen durch Erdgewichtskörper von 40 mm Länge und 20 mm Durchm., die aus dem Sand in wagerechten und senkrechten Ebenen mit einem gezogenen, runden Messingrohr herausgestoßen und gewogen wurden. Sie sind nach einem auf S. 54 beschriebenen Verfahren in den Abb. 36 bis 39 aufgetragen.

Die nach den oben geschilderten Verfahren hergestellten Lichtbilder zeigen senkrechte, meist in Pfahlmitte geführte Schnittebenen.

Aus ihnen ziehen wir folgende Schlüsse:

I. Farbige Gleitlinien.

Die Abb. 17 bis 22 und 31 u. 32 lassen deutlich die Größe des Absenkungsgebietes an den Stellen erkennen, wo die weißen Linien sich abzusenken beginnen, wie durch die dort eingezeichneten gestrichelten und punktierten Linien festgelegt ist. Dieses Absenkungsgebiet ist ein Umdrehungskörper mit



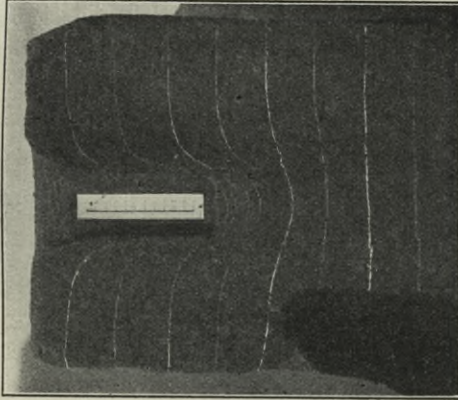
III
6
□

Abb. 17.

Pfahl entfernt.

Sand in Pfahlmittelebene geschnitten, farbige Schichten (Gleitlinien).

-- Grenze des Absenkungsgebiets (= Mitnahmegebiet) von Pfahl III identisch mit Beginn des Absinkens (Abgleiten) der farbigen Schichten (Gleitlinien).



III
6
□

Abb. 18.

Unterer Teil Pfahl entfernt.

Zeigt besonders die räumliche Ausdehnung des Absenkungsgebiets.

Sand in Pfahlmittelebene geschnitten, farbige Schichten (Gleitlinien).

Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt cm	Länge mm	Gewicht kg	Ramm-tiefe mm	Gesamt-zahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag mm	Ramm-arbeit A mkg
III	prismatisch, stumpf 6 A	6/6	1140	2,875	745	520	1,1	1501

Die Fallhöhe ist hier 800 mm (das Gewicht des Rammbaren = R II wie sonst = 3,920 kg).

Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt cm	Länge mm	Gewicht kg	Ramm-tiefe mm	Gesamt-zahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag mm	Ramm-arbeit A mkg
III	prismatisch, stumpf 6 A	6/6	1140	2,875	745	520	1,1	1501

Die Fallhöhe ist hier 800 mm (das Gewicht des Rammbaren = R II wie sonst = 3,920 kg).

VI
3
3

VII
3
3

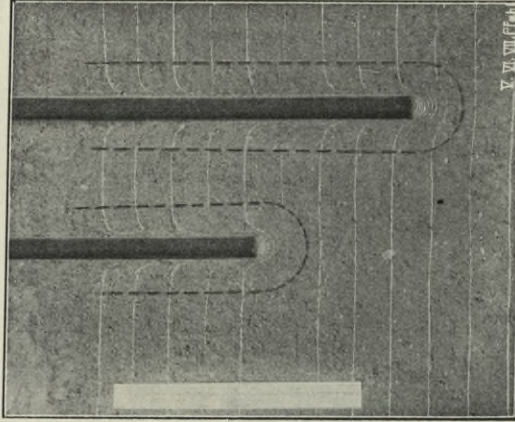


Abb. 20.

Pfähle entfernt.

Sand in Pfahlmittelebene
geschnitten, farbige
Schichten (Gleitlinien).

--- Grenze des Ab-
senkungsgebiets (Mit-
nahmegebiets).

IV
6

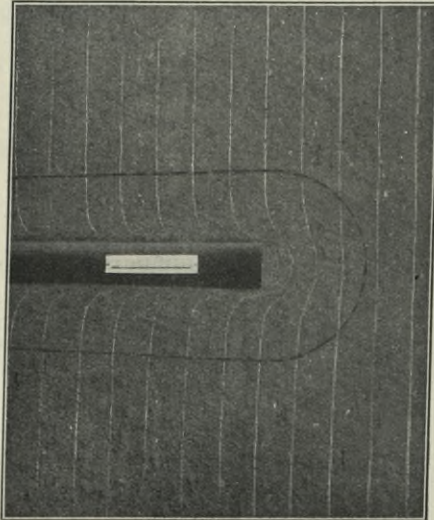


Abb. 19.

Pfahl entfernt.

Sand in Pfahl-
mittelebene ge-
schnitten, far-
bige Schichten
(Gleitlinien).

--- Grenze
des Absen-
kungsge-
biets (Mit-
nahmegebiets).

Pfahl Nr.	Pfahlform	Quer- schnitt	Länge	Ge- wicht	Ramm- tiefe	Gesamt- zahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag	Ramm- arbeit A
		cm	mm	kg	mm		mm	mkg
VI	prismatisch, stumpf, 3/4	3/3	1210	0,810	652	260	1,9	—
VII	desgl.	3/3	1213	0,810	856	420	1,4	341

Das Gewicht des Rammhärens ist hier $R_1 = 1,280$ kg.
(Die Fallhöhe wie sonst $= h = 850$ mm.)

Pfahl Nr.	Pfahlform	Quer- schnitt	Länge	Ge- wicht	Ramm- tiefe	Gesamt- zahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag	Ramm- arbeit A
		cm	mm	kg	mm		mm	mkg
IV	zylindrisch, stumpf 6B	$\varnothing = 6$	1200	2,31	700	320	1,6	1068

XII
6
6 1d

XI
6
6 1d

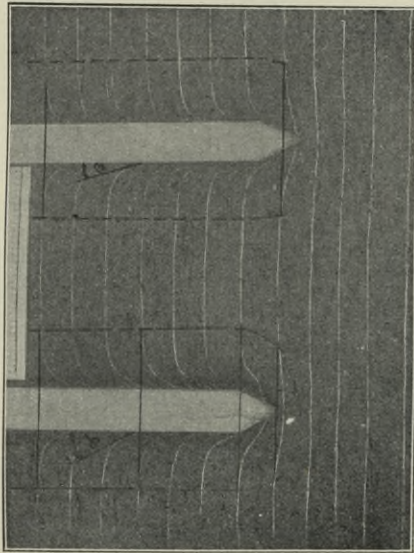


Abb. 21.
Sand Pfahlmittelebene geschnitten, farbige Schichten (Gleitlinien).
--- Grenze des Absenkungsgebiets.

Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt cm	Länge mm	Ge- wicht kg	Ramm- tiefe mm	Gesamt- zahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag mm	Ramm- arbeit A mkg
XI	zylindrisch, Spitze = 1d; 6 Ba	$\varnothing = 6$	121	2,165	768	250	2,4	740
XII	prismatisch, Spitze = 1d; 6 Aa	6/6	114	2,765	750	330	1,6	1000

XIV
6
6 1d

XIII
6
6 1d

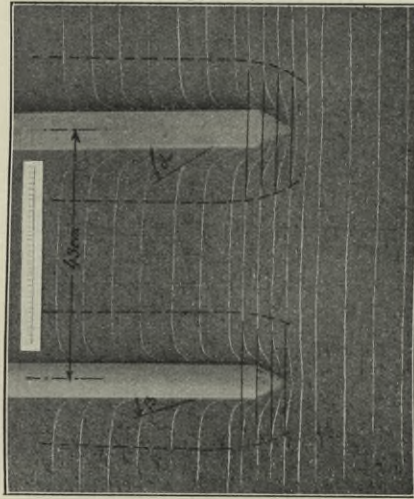


Abb. 22.
Sand Pfahlmittelebene geschnitten, farbige Schichten (Gleitlinien)
an der Spitze enger gelegt.
--- Grenze des Absenkungsgebiets.

Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt cm	Länge mm	Ge- wicht kg	Ramm- tiefe mm	Gesamt- zahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag mm	Ramm- arbeit A mkg
XIII	prismatisch, Spitze = 1d; 6 Aa	6/6	1140	2,765	794	320	1,9	910
XIV	zylindrisch, Spitze = 1d; 6 Ba	6 \varnothing	1210	2,165	790	230	2,3	640

Bemerkenswert: Bei Pfahl XIII ist α größer als β bei Pfahl XIV, derselbe Vorgang wiederholt sich an der Spitze, d. h. die Haftkraft beim runden Pfahl ist größer als beim quadratischen Pfahl; vergl. auch Pfahl XI und XII, Abb. 21.

der Pfahlmittellinie als Achse. Die Größe des Absenkungsgebietes ist abhängig von

- a) dem Pfahldurchmesser und nicht beim konischen Pfahl vom Konus;
- b) der Form der Spitze.

Zu a. Wir finden beim Vergleichen des Absenkungsgebietes an verschiedenen Pfählen, daß dieses sich bis zu der etwa $1\frac{1}{2}$ fachen Stärke des Pfahldurchmessers von dem Pfahlmantel ab ausdehnt und von unten (der Pfahlspitze) nach oben (dem Pfahlkopf) sich etwas verjüngt.

Diese Ausdehnung ist von der Form der Spitze unabhängig. Auch verlaufen die Gleitlinien bis zum Beginn der Absenkung wagerecht, um von da rasch abwärts fallend dem Pfahlmantel sich anzuschmiegen.

Zu b. Während die „stumpfen“ Pfähle ein kugelförmiges Absenkungsgebiet unter dem Ende zeigen, verlaufen die Gleitlinien bei den Pfählen mit Spitze = 1 d scharf nach der Spitze zu aus.

Damit ist erwiesen, daß der „stumpfe“ Pfahl ein weitaus größeres Absenkungsgebiet hat als der „spitze“ Pfahl.

Ist daher die Größe des Absenkungsgebietes ein Maßstab für die Tragfähigkeit des Pfahles, so trägt der „stumpfe“ Pfahl nur durch das am Pfahlende größere Absenkungsgebiet mehr als der „spitze“ Pfahl, wobei das Absenkungsgebiet längs des Pfahlmantels annähernd gleich groß ist bei gleichem Pfahldurchmesser beider Pfähle.

Das Absenkungsgebiet zeigt keine scharfen Ecken, sondern stets mehr oder weniger sanfte Uebergänge.

2. Merklinien.

Durch den Rammvorgang beim Pfahle wird das in der Nähe des Pfahles befindliche Erdreich verdrängt und verdichtet. Ein Bild dieses Vorganges zeigen nun die in der Pfahlmittellebene eingelegten „Merklinien“. Sie werden gegen den Pfahl zu mehr und mehr zusammengeschoben, verdrückt oder gänzlich geschlossen, während sie in weiterer Entfernung vom Pfahle geradlinig und offen bleiben.

Bis dorthin, wo die erste Verkrümmung bzw. Schließung der Merklinie, vom Pfahlmantel aus gerechnet, beginnt, kann die Wirkungsweise des Pfahles bzw. die Grenze seines Verdichtungsgebietes angenommen werden. Der Abstand dieses Punktes von dem Pfahlmantel gibt daher ein Maß für die Größe des Verdichtungsgebietes daselbst und die Verbindung aller dieser Punkte der Merklinien die Größe des Verdichtungsgebietes des Pfahles in dieser Schnittebene.

XXIII
6
□ 2 d

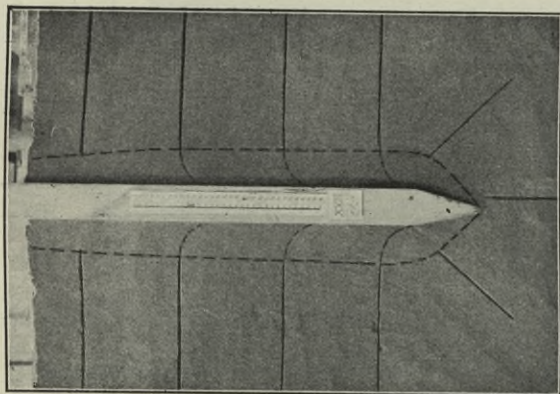


Abb. 24.

Sand Pfahlmittelebene geschnitten, eingezogene Merklinen 4 Stück waagrecht und 3 Stück radial je mit 4 mm \varnothing .

--- Grenze des Verdichtungsgebiets.

Dieser Pfahl zeigt besonders die Uebereinstimmung der Grenzlinien des Verdichtungsgebiets durch Merklinen einerseits und des Absenkungsgebiets durch Gleitlinien (analog den farbigen Schichten) anderseits.

Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt cm	Länge mm	Gewicht kg	Rammtiefe mm	Gesamtzahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag mm	Rammarbeit A mkg
XXIII	prismatisch, Spitze = 2 d 6 Ac	6/6	1100	2,740	748	260	2,1	793

XX
6
⊙ 1 d

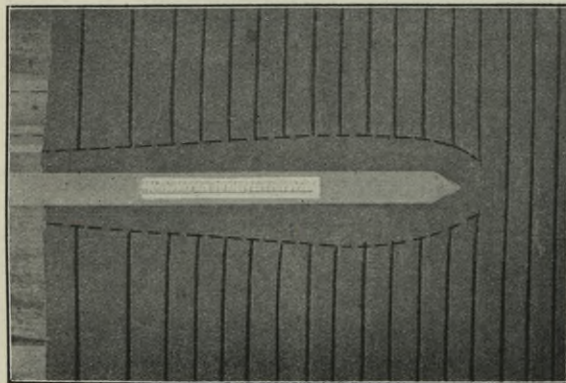


Abb. 23.

Sand Pfahlmittelebene geschnitten, eingezogene Merklinen 17 Stück je mit 7 mm \varnothing .

--- Grenze des Verdichtungsgebiets.

Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt cm	Länge mm	Gewicht kg	Rammtiefe mm	Gesamtzahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag mm	Rammarbeit A mkg
XX	zylindrisch, Spitze = 1 d; 6 Ba	6 \varnothing	1210	2,165	749	240	1,9	716

XXVII


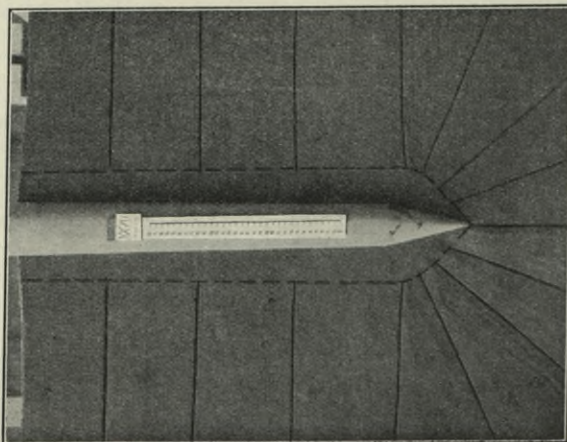
2d  6,8/9,1

Abb. 25.

Sand Pfahlmittlebene geschnitten, eingezogene Merklinen 4 Stück wagerecht und 7 Stück radial je mit 4 mm (die senkrechte jedoch mit 7 mm) \varnothing .

--- Grenze des Verdichtungsgebiets; Spitzenwirkung.

Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt cm	Länge mm	Gewicht kg	Rammtiefe mm	Gesamtzahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag mm	Rammarbeit A mkg
XXVII	wie ein Kegestumpf, Spitze = 2d 6,8/9,1 Dc	6,8/9,1	1000	3,60	719	340	1,2	1083

XXVIII

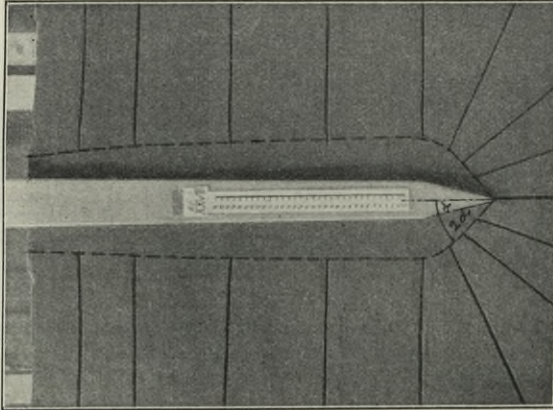
8  2d

Abb. 26.

Sand Pfahlmittlebene geschnitten, eingezogene Merklinen 5 Stück wagerecht und 7 Stück radial je mit 4 mm (die senkrechte 7 mm) \varnothing .

--- Grenze des Verdichtungsgebiets, liegt an der Spitze in einer Neigung zur Kante = dem doppelten Spitzenwinkel.

Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt cm	Länge mm	Gewicht kg	Rammtiefe mm	Gesamtzahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag mm	Rammarbeit A mkg
XXVIII	wie ein Pyramidenstumpf, Spitze = 2d 6/8 Cc	6/6 unten 8/8 oben	1000	3,70	710	320	1,5	1042

Abb. 28 a.

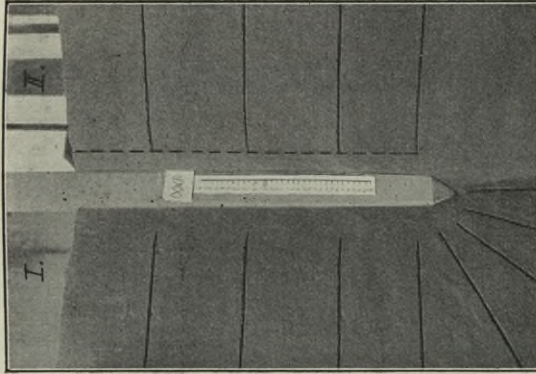
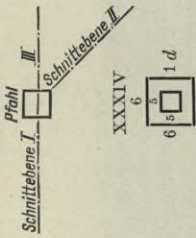


Abb. 28.

Sand links — Schnittenebene I = in Pfahlmittelebene, rechts in Pfahldiagonalebene geschnitten (siehe Abb. 28 a).

Eingezogene Merklinen 4 Stück wagerecht und 4 Stück radial je mit 4 mm ϕ .

Die Merklinen rechts — in Schnittenebene II — zeigen, daß auch der prismatische Pfahl ein von der Pfahlachse radiales Ausstrahlen des Verdichtungsgebietes hat. (Verdichtungsgebiet \equiv Umdrehungskörper mit der Pfahlmittellinie als Achse.)

--- Grenze des Verdichtungsgebietes in Pfahldiagonalebene (Schnittenebene II).

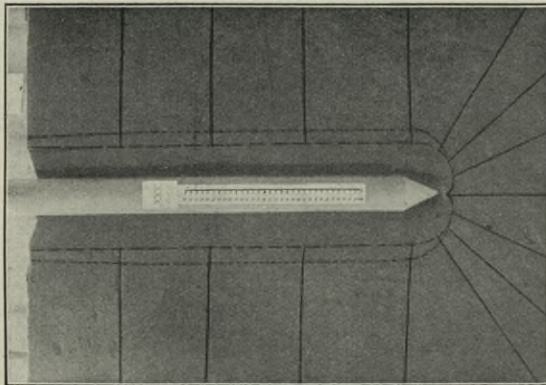
Abb. 27.

Sand Pfahlmittelebene geschnitten, eingezogene Merklinen 4 Stück wagerecht und 7 Stück radial je mit 4 mm ϕ .

--- Grenze des Verdichtungsgebietes (zusammendrückende Wirkung).

----- Grenze des Verdichtungsgebietes (verschiebende Wirkung).

Die Spitzenwirkung ist hier verschieden von der von Pfahl XXVIII Abb. 26 (mit Spitzenlänge = 2 d).



Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt	Länge	Gewicht	Ramm-tiefe	Gesamt-zahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag	Rammarbeit A
		cm	mm	kg	mm		mm	mkg
XXX	zylindrisch, Spitze = 1 d; 6,8 Ba	6/8	980	3,140	697	370	1,6	1240

XXXIV

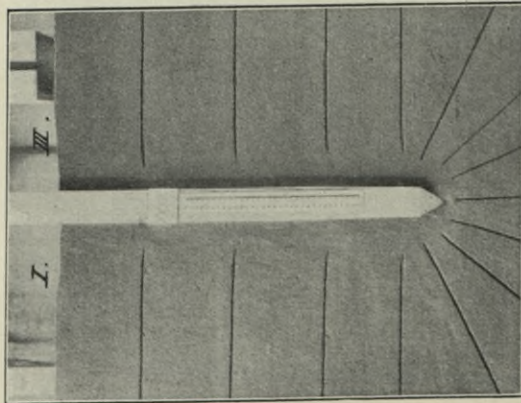


Abb. 29.

Sand Pfahlmittelebene geschnitten (Schnittebene I und III siehe Abb. 28a).

Eingezogene Merklinien 4 Stück wagerecht und 7 Stück radial je mit 4 mm ϕ .

Pfeil Nr.	Pfeilform	Querschnitt	Länge	Gewicht	Rammtiefe	Gesamtzahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag	Rammarbeit
		cm	mm	kg	mm		mm	mkg
XXXIV	unten auf 25 cm als Pyramidenstumpf, darüber prismatic, Spitze = 1 d; $\frac{5}{6} C a$	$\frac{5}{5}$ unten $\frac{6}{6}$ oben	1000	3,260	688	190	2,7	650

XXXV

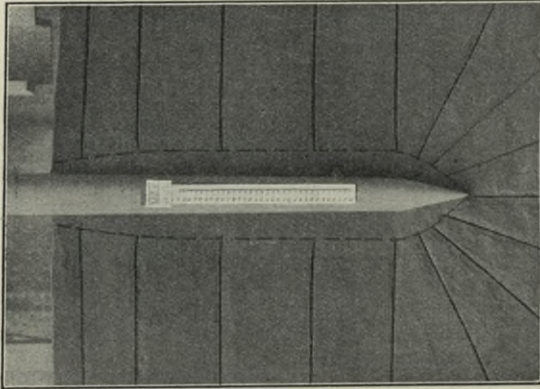
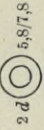


Abb. 30.

Sand Pfahlmittelebene geschnitten, eingezogene Merklinien 5 Stück wagerecht und 7 Stück radial je mit 4 mm ϕ .

--- Grenze des Verdichtungsgebiets.

Pfeil Nr.	Pfeilform	Querschnitt	Länge	Gewicht	Rammtiefe	Gesamtzahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag	Rammarbeit
		cm	mm	kg	mm		mm	mkg
XXXV	wie ein Kegelmstumpf, Spitze = 2 d; $\frac{5,8}{7,8} D c$	5,8/7,8	1000	2,575	746	260	1,7	776

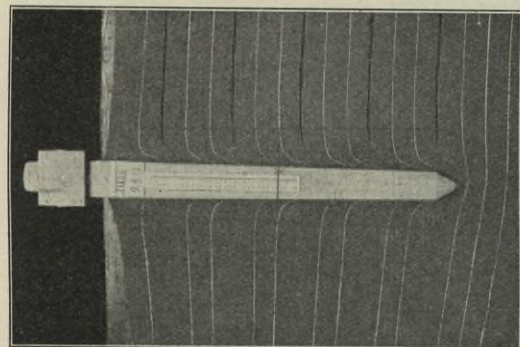


Abb. 31.

Sand Pfahlmittelebene geschnitten, farbige Schichten (Gleitlinien) abwechselnd mit Merklinien 5 Stück wägerecht und 1 Stück radial je mit 4 mm \varnothing .

--- Grenze des Verdichtungsgebiets (zusammenrückende Wirkung) = Merklinien.

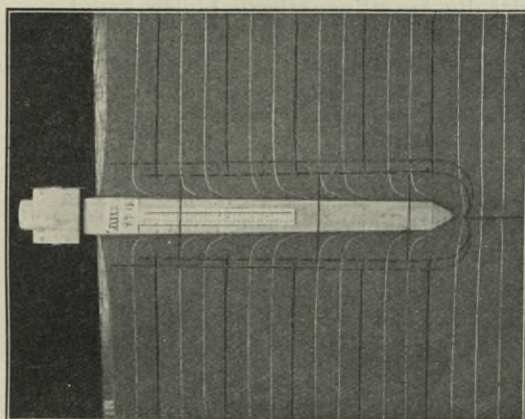
----- Grenze des Verdichtungsgebiets (verabschwebende Wirkung) = Gleitlinien zeigen zugleich die Uebereinstimmung mit dem Beginn des Absinkens oder Zusammenschiebens der Merklinien.

Abb. 32.

Sand links in Pfahldiagonalebene geschnitten, rechts in Pfahlmittelebene (siehe Abb. 32 a). Die Gleitlinien links zeigen, daß auch der konisch-quadratische Pfahl ein von der Pfahlachse radiales Ausstrahlen des Verdichtungsgebiets hat (Verdichtungsgebiet \equiv Um-drehungskörper mit der Pfahlmittellinie als Achse).

--- Grenze des Verdichtungsgebiets in Pfahldiagonalebene.

----- Grenze des Verdichtungsgebiets in Pfahlmittelebene.



Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt	Länge	Gewicht	Rammtiefe	Gesamtzahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag	Rammarbeit A
		cm	mm	kg	mm		mm	mkg
XXXXII	vierseitiger Pyramidenstumpf mit Spitze = 1 d; 6/8 Ca	6/8	940	3,66	740	240	1,8	1079

Dieser Pfahl wurde mit Rammbar III = 5,825 kg Gewicht und der Fallhöhe = 850 mm gerammt.

Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt	Länge	Gewicht	Rammtiefe	Gesamtzahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag	Rammarbeit A
		cm	mm	kg	mm		mm	mkg
XXXXII	vierseitiger Pyramidenstumpf mit Spitze = 1 d; 6/8 Ca	6/8	940	3,66	740	240	1,8	1079

Dieser Pfahl wurde mit Rammbar III = 5,825 kg Gewicht und der Fallhöhe = 850 mm gerammt. Bemerkenswert ist, daß hier das mit dem Rammbar III = 5,825 kg Gewicht gewonnene Verdichtungsgebiet dieselbe Wirkungsweise hat, wie das Verdichtungsgebiet desselben Pfahles (vergl. Abb. 33 6/8 Ca Nr. XXXXIV) mit dem Rammbar = 3,920 kg Gewicht bei einer Fallhöhe von 850 mm bei beiden Pfählen.

Tiefe des Sandes = unendlich durch Herausnahme des Bodens der Kiste und Aufsetzen derselben auf Sandboden.

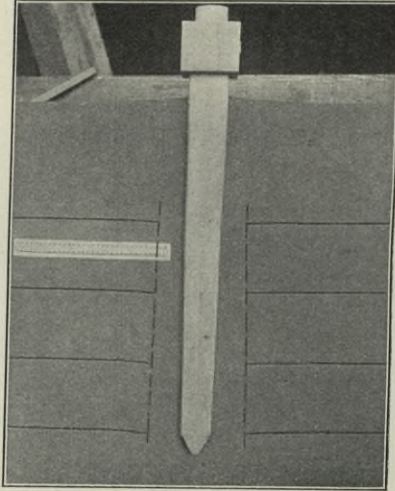


Abb. 33.

Sand Pfahlmittelebene geschnitten, eingezogene Merklinien wagerecht je mit 4 mm ϕ .

— — Grenze des Verdichtungsgebiets.

Vergl. Abb. 32 Pfahl 6/8 Nr. XXXXII.

Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt cm	Länge mm	Gewicht kg	Rammtiefe mm	Gesamtzahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag mm	Rammarbeit A mkg
XXXXIV	vierseitiger Pyramidenstumpf mit Spitze = $1d$; $6/8 Ca$	6/8	940	3,66	744	350	1,3	1060

Dieser Pfahl wurde mit Rammbar II = 3,92 kg Gewicht und einer Fallhöhe = 850 mm wie sonst gerammt.

Die Grenzen des Verdichtungsgebietes — auf den Abbildungen durch gestrichelte bzw. punktierte Linien kenntlich gemacht — erstrecken sich nun im Mittel etwa bis $1d$ vom Pfahlmantel (Schließung der Merklinie) und strahlen im Mittel etwa bis $1\frac{1}{2}d$ aus (Verkrümmung der Merklinie), wenn d den Durchmesser des Pfahles bedeutet.

Das Verdichtungsgebiet ist wieder ein Umdrehungskörper mit der Pfahlmittellinie als Achse. Derselbe verjüngt sich nach oben. Aus Pfahl 6,8 *Ba* Nr. XXX (Abb. 27) und den Abb. 36 bis 39 der Gewichtskurven ersehen wir:

Ergebnisse der Beobachtungen und Abbildungen.

1. Eine zusammendrückende Wirkung des Verdichtungsgebietes, einerseits gezeigt durch Merklinien; Wirkung bis etwa $1 d$ vom Pfahlmantel; anderseits nachgewiesen durch Gewichtsproben und mit dem Ergebnis: Maximalgewicht der Probekörper in Entfernung $\frac{d}{2}$ vom Pfahlmantel.

2. Eine verschiebende Wirkung, d. h. Mitnahme der mehr oder weniger komprimierten Erdhohlzylinder mit dem Pfahl nach unten relativ zur ruhenden Erdmasse, in der Entfernung $1\frac{1}{2} d$ vom Pfahlmantel, verschieden stark und verschwindend in größerer Entfernung von der Pfahlachse.

3. Eine federnde Wirkung, die vollständig wieder zurückgegangen ist und nur Stoß- und Schwingungsübertragung mitgeleistet hat.

Wie die Merklinien zeigen, erfährt das Erdreich unter der Spitze eine besondere Ausbildung.

Während bei den stumpfen Pfählen das Verdichtungsgebiet einen annähernd kugelförmigen Verdrängungskörper mit tief vorgeschobener Spitze bildet (siehe Abb. 17 bis 20 und vergl. Text S. 46 unter 1. Farbige Gleitlinien zu b), erscheint bei den Pfählen mit Spitze $= 1 d$ ebenfalls ein kugelförmiger, jedoch kleinerer Verdichtungskörper, dessen Spitze nahe der Pfahlspitze liegt. Letztere teilt den Verdichtungsbereich in zwei Hälften (auf der Abbildung).

Bei den Pfählen mit Spitze $= 2 d$ bildet sich dagegen ein kegelförmiger Verdrängungskörper, dessen Spitze mit der Pfahlspitze zusammenfällt und dessen Mantellinien einen Winkel mit den Pfahlkanten $=$ dem doppelten Zuspitzungswinkel des Pfahles bilden.

Abweichungen von den für den Pfahl gefundenen Gesetzmäßigkeiten zeigt das Erdreich zunächst der Bodenoberfläche. Hier haben besonders die Merklinien das Bestreben, sich nach oben zu bewegen und in kürzerem Abstände als d von dem Pfahlmantel sich zu schließen, so daß das Verdichtungsgebiet eine nach oben (der Oberfläche zu) sich leicht verjüngende Gestalt aufweist.

Die Ursachen dieser geringeren Verdichtungswirkung an der Oberfläche sind in dem dort loseren Zusammenhang der Erdteilchen zu finden, da diese der verdrängenden Wirkung des Pfahles leichter ausweichen können als in geringerer Tiefe.

Die Ursachen der Aufwärtsbewegung der Merklinien beruht auf der beim Eindringen der Spitze die Sandkörner

nach seitlich und oben schiebenden Wirkung, der an der Oberfläche das Gewicht der wenigen darüber befindlichen Erdmassen keinen Widerstand zu leisten vermag und durch die die ganze Oberfläche gehoben wird.

Ein gutes Beispiel der Uebereinstimmung der beiden zur Bestimmung des Verdichtungsgebietes angewandten Verfahren mittels der „Gleitlinien“ und der „Merklinen“ gibt der Pfahl 6/8 *Ca* Nr. XXXXII Abb. 31). Da, wo die „Gleitlinien“ sich abzusenken beginnen, finden die Zusammenrückungen und Abwärtsbewegungen der „Merklinen“ statt, während von dort, wo die letzteren gänzlich geschlossen sind, die Gleitlinien rasch nach abwärts an den Pfahlmantel gleiten.

3. Gewichtskurven.

Die Abb. 34 u. 35 veranschaulichen das zur Gewinnung des verschiedenen Dichtigkeitsgrades des Verdichtungsgebietes angewandte Verfahren.

Die Verdichtungsgebiete verschiedener Pfähle sind auf den Abb. 36 bis 39 aufgetragen.

Erdkörperchen von einem Rauminhalt = 12,56 ccm wurden mit den in Abb. 6 dargestellten Werkzeugen herausgestoßen und einzeln gewogen.

Die Abstände der Gewichtskörper von dem Pfahlmantel bezw. von der Achse in den Schnittebenen sind als Abszissen und die entsprechenden Gewichte als Ordinaten aufgetragen. Die so gewonnenen Punkte einer Schnittebene werden miteinander verbunden und ergeben die Gewichtskurve.

Diese Ermittlungen wurden für senkrechte und gelegentlich auch für wagrechte Schnittebenen vorgenommen.

Das Durchschnittsgewicht bezw. der Einheitswert des Dichtigkeitsgrades der Erde wird durch die außerhalb der Zone des Verdichtungsgebietes herausgestoßenen Erdgewichtskörper gefunden. Diese Körper werden gewogen und ihr Gewicht vermittelt. Da, wo die Gewichtskurven sich diesem Einheitswert asymptotisch nähern, ist die Grenze des Verdichtungsgebietes. Das Maximum der Gewichtskurven zeigt die größte Verdichtung. Die sich entsprechenden Punkte der Gewichtskurven in den einzelnen Schnittebenen werden miteinander verbunden und ergeben das ganze Verdichtungsgebiet und die größte Verdichtung des Pfahles.

Durch das in Abb. 35 gezeigte Verfahren — dargestellt auf Abb. 38 u. 39 — ist die räumliche Form des Verdichtungsgebietes erwiesen.

XXII


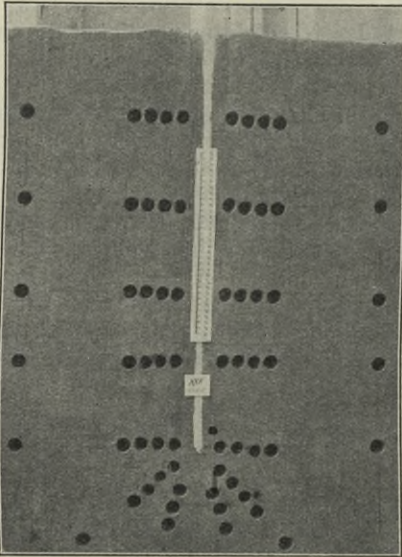
 $1\frac{1}{2} d$

 $4/6$


Abb. 34.

Sand vorne Pfahl geschnitten. Zeigt die Entnahme der Erdgewichtsproben zur Bestimmung des Dichtigkeitsgrades im Verdichtungsgebiet in wagerechten Sandschichten — mittels der auf Abb. 6 bezeichneten Hilfswerkzeuge — an 11 Pfählen: XVIII bis XXVIII.

Pfahl Nr.	Pfahlform	Querschnitt cm	Länge mm	Gewicht kg	Rammtiefe mm	Gesamtzahl der Schläge	Ziehen beim letzten Schlag mm	Rammarbeit A mkg
XXII	wie ein Kegelpfahl, Spitze = $1\frac{1}{2} d$ $4/6 D b$	$\frac{4}{6} \varnothing$ unten $6 \varnothing$ oben	1200	1,825	755	170	2,1	486

XXIX


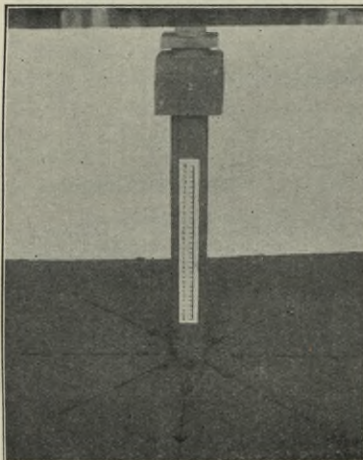
 $6,8$

 $1 d$


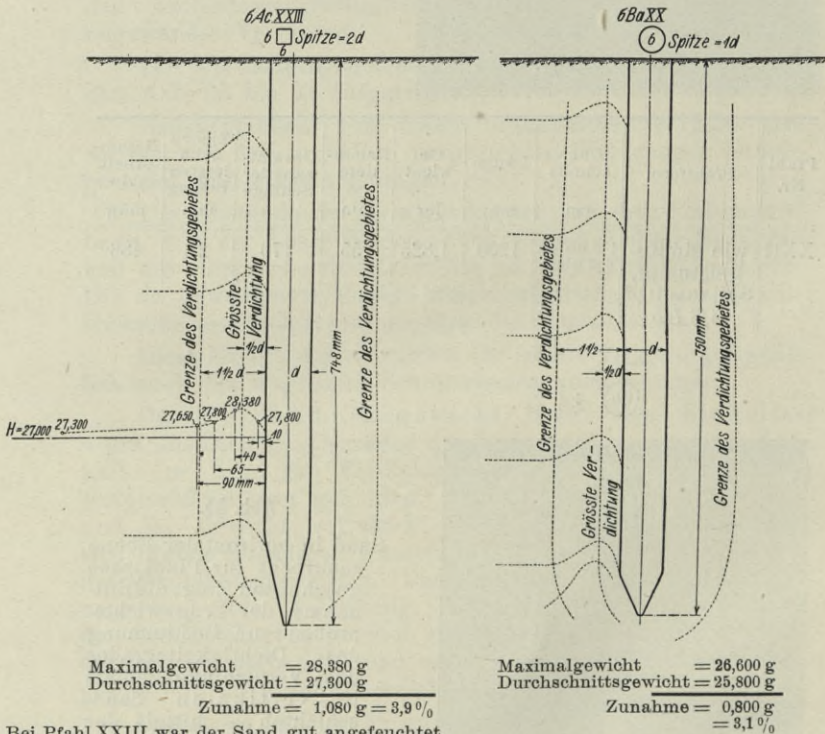
Abb. 35.

Sand in horizontal Ebene senkrecht zur Pfahlachse geschnitten. Zeigt die Entnahme der Erdgewichtsproben zur Bestimmung des Dichtigkeitsgrades des Verdichtungsgebiets in vertikalen Sandschichten — mittels der auf Abb. 6 bezeichneten Hilfswerkzeuge — an drei Pfählen (Nr. XXIX, XXXII und XXXIII).

Durch die Auftragung des Verdichtungsgebietes durch die Gewichtskurven ist wieder als Grenze des Verdichtungsgebietes der Abstand von annähernd $1\bar{d}$ — radial vom Pfahlmantel — und Ausstrahlung bis annähernd $1\frac{1}{2}d$ — radial vom Pfahlmantel — ermittelt worden, so daß sich die Uebereinstimmung der auf drei Arten bestimmten Größe des Verdichtungsgebietes durch farbige Gleitlinien, Merklinien und Gewichtskurven ergibt. Dabei ist noch zu erwähnen, daß die Grenze des Verdichtungsgebietes nach allen drei Methoden in dem genannten Abstand mit einer kleinen Verjüngung von Pfahlspitze zu Pfahlkopf verläuft.

Die größte Dichte des Pfahles findet sich im Abstand von annähernd $\frac{1}{2}d$ vom Pfahlmantel und verläuft annähernd

Abb. 36. Gewichtskurven.



parallel zu diesem und endigt in der Spitze (d = Pfahldurchmesser). Siehe die Abb. 36 bis 39.

Besonders wichtig ist die gefundene Tatsache, daß der Grad der Verdichtung je nach Entfernung von der Pfahlachse im Verdichtungsgebiet durchaus verschieden ist.

Die nahe am Pfahl befindlichen Erdteilchen kommen infolge der Erschütterung beim Rammen und ihr Abwärtsgleiten durch die Mantelreibung zu keiner so starken Verdichtung, im Gegenteil, ihr Zusammenhang wird mitunter gelockert.

Man kann also das gesamte Verdichtungsgebiet, d. h. den Umdrehungskörper, in welchem sich die Rammwirkung bemerkbar macht, nicht einheitlich bewerten.

Wie die Darstellungen auf Grund der Gewichtsermittlungen auf den Abb. 37 u. 39 zeigen, ist in dem Verdrängungsgebiet bei verjüngten Pfählen der Maximalwert der Verdichtung bedeutend größer als bei prismatischen oder zylindrischen Pfählen. Während der Unterschied der größten Verdichtung gegenüber dem Durchschnittswert derselben bei letzteren im Mittel etwa 3 % beträgt, steigt das Maximum der Verdichtung bei verjüngten Pfählen bis über 6 % gegenüber dem Durchschnittswert.

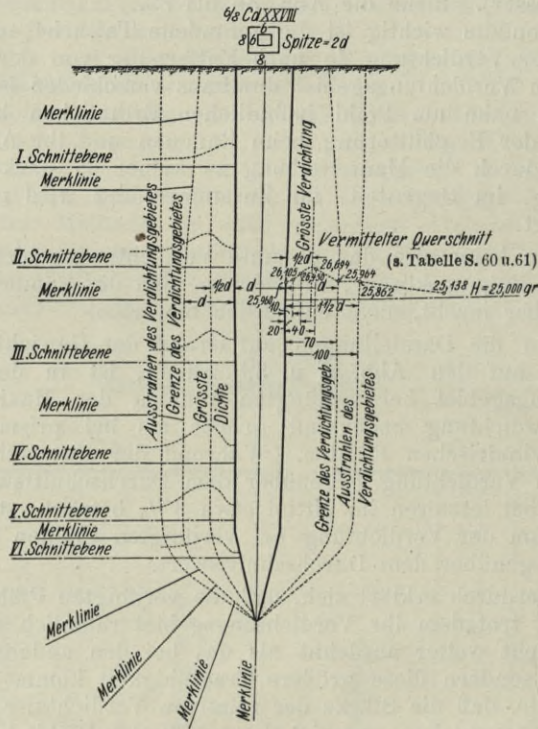
Hierdurch erklärt sich, daß die verjüngten Pfähle mehr tragen, trotzdem ihr Verdichtungsgebiet räumlich durchaus sich nicht weiter ausdehnt als das bei den anderen Pfahlarten; sondern diese größere Tragfähigkeit kommt dadurch zustande, daß die Stärke der relativen Verdichtung im Verdichtungsausdehnungsgebiet der verjüngten Pfähle bedeutend größer ist als bei prismatischen und zylindrischen Pfählen.

Als ein weiterer charakteristischer Unterschied in der Qualität des Verdichtungsgebietes bei den verjüngten Pfählen tritt der Umstand hervor, daß das Verdichtungsgebiet bei diesen Pfählen ein vom Pfahlkopf nach unten gegen den Punkt zu, wo die Pfahlspitze beginnt, gleichmäßiges Ansteigen der Verdichtungswirkung sich zeigt, im Gegensatz zu den prismatischen und zylindrischen Pfählen, die längs des Pfahlmantels denselben Grad der Verdichtung zeigen. Gegen die Spitze zu nimmt auch beim verjüngten Pfahl die Verdichtungswirkung wieder ab.

Eine Bestätigung dieses Vorgangs zeigt Abb. 39 Pfahl 6/8 C d Nr. XXXII.

Dadurch ist eine weitere Erklärung für die größere Tragfähigkeit der verjüngten Pfähle gegenüber den prismatischen und zylindrischen Pfählen erbracht.

Abb. 37. Gewichtskurven.



Maximalgewicht = 26,694 g
 Durchschnittsgewicht = 25,188 g
 Zunahme = 1,556 g = 6,1%

Maßstab der Höhen: 1 g = 10 mm
 Maßstab der Längen: 1 cm = 4 mm

Auftragungen links vom Pfahl XXVIII.

Vermittelte Gewichts-auftragungen aus denselben Schnittebenen je ein Punkt links und ein Punkt rechts von der Pfahlkante in gleichem Abstand von dieser (Abb. 37 u. 37a).

Schnittebene	Abstand von der Pfahlkante in mm	Punkt Nr.	Gewicht in g	Vermitteltes Gewicht in g
I	10	1	25,950	26,275
		19	26,600	
	40	2	25,800	25,800
	70	3	25,150	25,150
	210	45	24,700	24,700

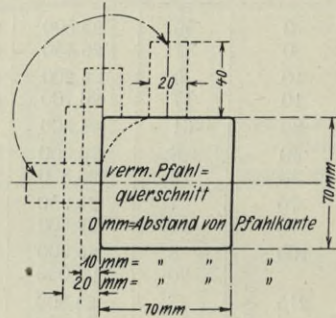
Schnitt- ebene	Abstand von der Pfahlkante in mm	Punkt Nr.	Gewicht in g	Vermitteltes Gewicht in g
II	0	56	25,500	} 25,975
	0	57	26,450	
	10	5	26,200	} 26,150
	10	17	26,100	
	20	61	26,300	26,300
	40	6	26,800	} 26,800
	40	18	26,800	
	70	7	25,950	} 26,275
	70	19	26,600	
	100	8	25,900	} 25,950
		20	26,000*	
	215	46	25,300	} 25,050
	53	24,800		
III	0	57	26,450	} 26,250
	0	58	26,050	
	10	9	26,500	} 26,250
	10	21	26,000	
	20	60	26,500	26,500
	40	10	26,650	} 26,600
	40	22	26,550	
	70	11	25,350	} 25,600
	70	23	25,850	
	100	12	25,800	} 25,700
	100	24	25,600	
	217	47	24,900	} 24,800
217	54	24,700		
IV	0	58	26,050	} 25,950
	0	59	25,850	
	10	13	25,800	} 25,850
	10	25	25,900	
	20	62	26,500	26,500
	40	14	27,050	} 27,025
		26	27,000	
	70	15	falsch herausgestoßen	
		27	26,300	26,300
	100	16	26,200	} 26,150
	100	28	26,100	
	219	48	25,400	} 25,550
219	55	25,700		
V	0	59	25,850	25,850
	10	29	25,900	25,900
	20	63	26,500	26,500
	40	30	26,900	26,900
	70	31	26,550	26,550
	100	32	26,800	26,800
	220	49	25,600	25,600

Abb. 37a.

Darstellung der Entnahme der
Gewichtskörper am Pfahl XXVIII
(Abb. 37).

(Länge 40 mm und 20 mm \varnothing .)

$M = 1:5$.



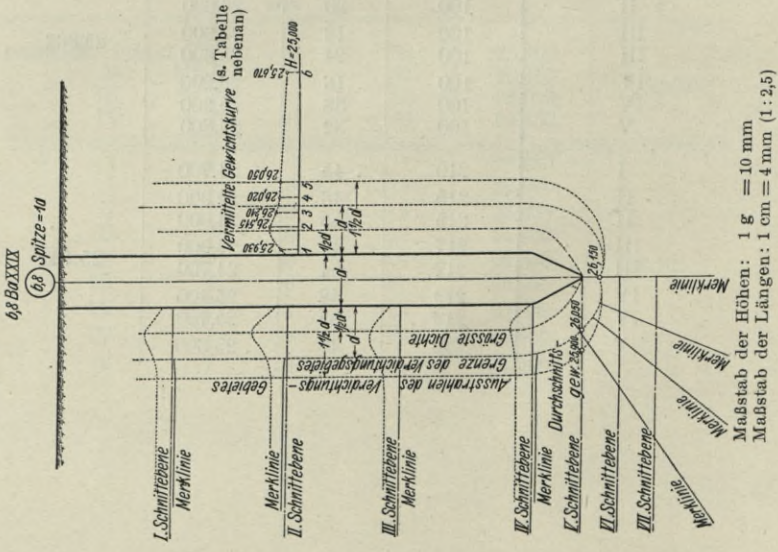
Auftragungen rechts vom Pfahl XXVIII.

Vermittelte Gewichtsauftragungen aus **verschiedenen** Schnittebenen,
aber **stets in gleichem Abstand** von der Pfahlkante (Abb. 37 u. 37a).

Schnittebene	Abstand von der Pfahlkante in mm	Punkt Nr.	Gewicht in g	Vermitteltes Gewicht in g
zwischen I und II	0	56	25,500	25,960
" II " III	0	57	26,450	
" III " IV	0	58	26,050	
" IV " V	0	59	25,850	
I	10	1	25,950	26,105
I	10	19	26,600	
II	10	5	26,200	
II	10	17	26,100	
III	10	9	26,500	
III	10	21	26,000	
IV	10	13	25,800	
IV	10	25	25,900	
V	10	29	25,900	

Schnittebene	Abstand von der Pfahlkante in mm	Punkt Nr.	Gewicht in g	Vermitteltes Gewicht in g
II	20	61	26,300	26,450
III	20	60	26,500	
IV	20	62	26,500	
zwischen IV und V	20	63	26,500	
I	40	2	25,800	26,694
II	40	6	26,800	
II	40	18	26,800	
III	40	10	26,650	
III	40	22	26,550	
IV	40	14	27,050	
IV	40	26	27,000	
V	40	30	26,900	
I	70	3	25,150	25,964
II	70	7	25,950	
II	70	19	26,600	
III	70	11	25,350	
III	70	23	25,850	
IV	70	15	—	
IV	70	27	26,300	
V	70	31	26,550	
I	100	4	25,400	25,862
II	100	8	25,900	
II	100	20	26,000	
III	100	12	25,800	
III	100	24	25,600	
IV	100	16	26,200	
IV	100	38	25,200	
V	100	32	26,800	
I	210	45	24,700	25,138
II	215	46	25,300	
II	215	53	24,800	
III	217	47	24,900	
III	217	54	24,700	
IV	219	48	25,400	
IV	219	55	25,700	
V	220	49	25,600	

Abb. 38. Gewichtskurven.

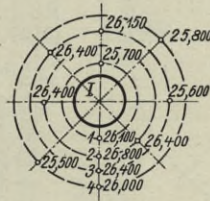


Aufgetragen rechts vom Pfahl XXIX (Abb. 38 u. 38a).

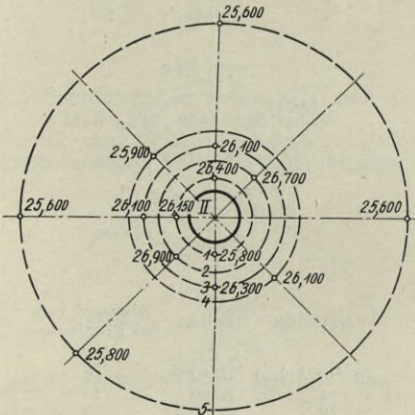
Schnitt-ebene	Abstand (vom Pfahl-umfang) in mm	Kreisring Nr.	Vermitteltes Gewicht im Kreisring in g	Vermitteltes Gewicht in den Schnittebenen in g
I	dicht am Pfahl	1	25,900	25,980
II	"	1	26,120	
III	"	1	25,950	
IV	"	1	25,750	
I	40	2	26,530	26,515
II	40	2	26,800	
III	40	2	26,600	
IV	40	2	26,130	
I	60	3	26,140	26,210
II	60	3	26,200	
III	60	3	26,480	
IV	60	3	26,030	
I	80	4	25,770	26,020
II	80	4	26,000	
III	80	4	26,380	
IV	80	4	25,930	
III	100	5	25,950	26,050
IV	100	5	26,150	
II	225	5	25,670	25,670
III	225	6	25,800	
IV	225	6	25,550	

Abb. 38 a.

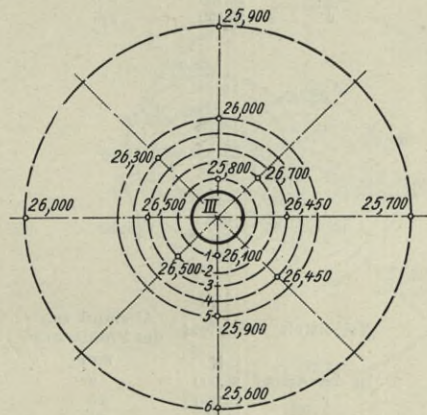
Die Schnittebenen (I bis VII) sind im Maßstab 1:5 aufgetragen.
Die Punkte mit gleichem Abstand von der Pfahlachse sind durch einen Kreis verbunden.



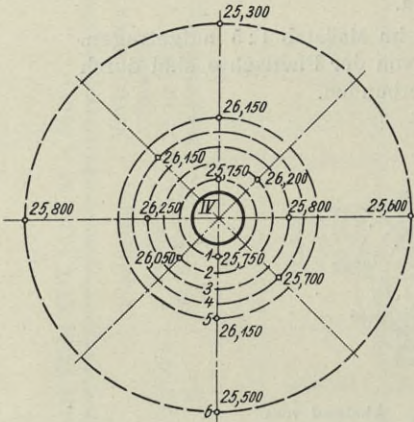
Vermittelt	Gewicht	Abstand vom Pfahlumfang
	g	mm
1	25,900	15
2	26,530	40
3	26,140	60
4	25,770	80



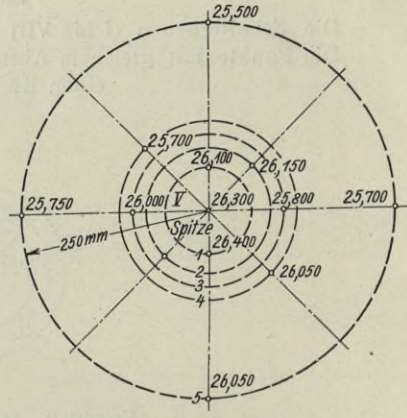
Vermittelt	Gewicht	Abstand vom Pfahlumfang
	g	mm
1	26,120	15
2	26,800	40
3	26,200	60
4	26,000	80
5	25,870	225



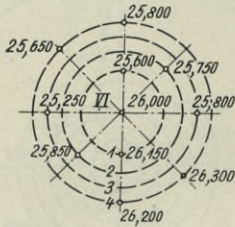
Vermittelt	Gewicht	Abstand vom Pfahlumfang
	g	mm
1	25,950	15
2	26,600	40
3	26,480	60
4	26,980	80
5	25,950	100
6	25,800	225



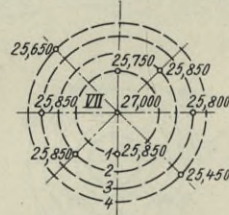
IV		Abstand vom Pfahlumfang
Vermittelt	Gewicht	mm
	g	
1	25,750	15
2	26,180	40
3	26,030	60
4	25,930	80
5	26,150	100
6	25,550	225



V		Abstand von der Pfahlachse
Vermittelt	Gewicht	mm
	g	
Spitze	26,300	0
1	26,250	55
2	26,050	80
3	25,900	100
4	25,880	120
5	25,750	250



VI		Abstand von der Pfahlachse
Vermittelt	Gewicht	mm
	g	
In der Achse	26,000	0
1	25,880	55
2	25,800	80
3	25,530	100
4	25,990	120
Durchschnitt	25,840 g	



VII		Abstand von der Pfahlachse
Vermittelt	Gewicht	mm
	g	
In der Achse	27,000	0
1	25,800	55
2	25,850	80
3	25,830	100
4	25,550	120
Durchschnittsgewicht mit 27,000:	26,000 g	
„ ohne 27,000:	25,760 g	

Bemerkung: Die Durchschnittsgewichte der Schnittebenen VI und VII mit 25,840 und 26,000 bezw. 25,760 g entsprechen annähernd dem in der Tabelle S. 62 gewonnenen Durchschnittsgewicht von 25,670 g, der Pfahl hat daher in den Schnittebenen VI und VII keine Wirkung mehr.

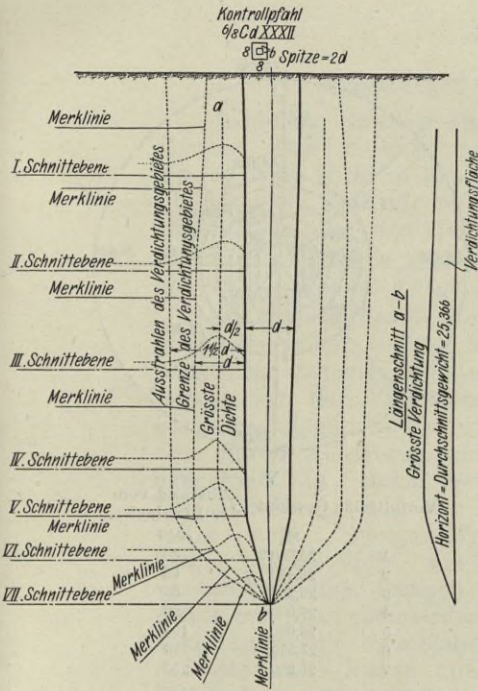
$$\text{Durchschnittsgewicht} = \frac{25,670 + 25,840 + 26,000}{3} = 25,840 \text{ g}$$

$$\text{Höchstes Durchschnittsgewicht} = 26,515 \text{ g}$$

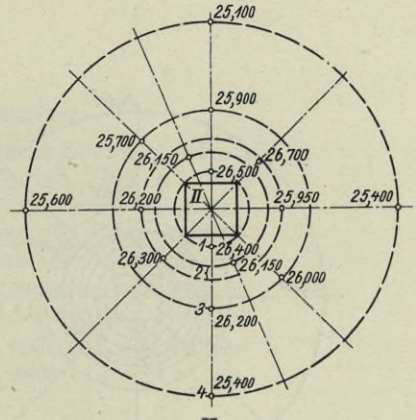
$$\text{Niederstes} = 25,840 \text{ g}$$

$$\text{Zunahme} = 0,675 \text{ g} = 2,6 \%$$

Abb. 39. Gewichtskurven.

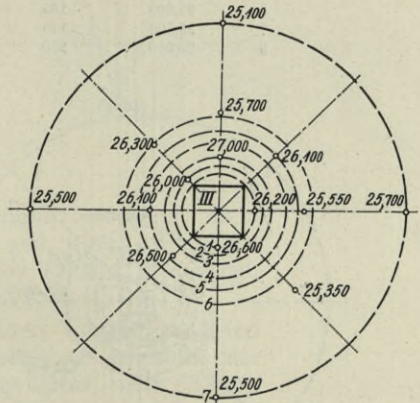


Maßstab:
 Maßstab der Höhen: 1 g = 10 mm
 Maßstab der Länge: 1 cm = 4 mm.
 Maximalgewicht = 26,046 g
 Durchschnittsgewicht = 25,366 g
 Zunahme = 1,280 g = 5,10%
 Längenschnitt a-b
 Grösste Verdichtung
 Horizont - Durchschnittsgewicht = 25,366
 Verdichtungsfläche



II

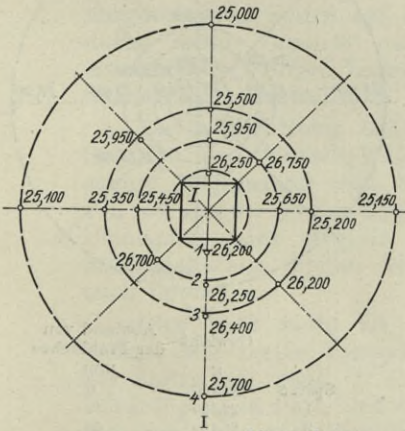
Vermittelt	Gewicht g	Abstand von der Pfahlachse mm
1	26,450	50
2	26,240	80 bzw. 95
3	25,980	135
4	25,800	250



III

Vermittelt	Gewicht g	Abstand von der Pfahlachse mm
1	26,400	50
2	26,600	60
3	27,000	70
4	26,800	90
5	25,890	105
6	25,780	125
7	25,450	250

Abb. 39a.
 Die Schnittebenen (I bis VII) sind im Maßstab 1:5 aufgetragen.
 (Punkte mit gleichem Abstand von der Pfahlachse sind durch Kreise verbunden.)



I

Vermittelt	Gewicht g	Abstand von der Pfahlachse mm
1	26,230	50
2	26,180	95
3	25,770	135
4	25,240	250

Durchschnittsgewicht von den Schnittebenen I bis VII aus den Punkten im Abstand: 250 mm von Pfahlachse ermittelt = 25,366 g.

Folgerungen aus den Versuchen.

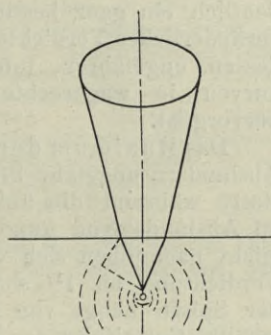
Inwiefern stimmen die von Baudirektor Stern in seinem Buche: „Das Problem der Pfahlbelastung“ (Berlin 1908, Verlag von Wilhelm Ernst & Sohn, vergl. auch Literaturübersicht Nr. 24 S. 6) bei der Ermittlung des Eindringungswiderstandes zugespitzter Pfähle mittels der statisch-geometrischen Methode gemachten Voraussetzungen nicht völlig mit dem wirklichen Vorgange bei der Pfahlrammung überein?

Im Moment des Weitereindringens während des Rammvorganges bildet, bei der kurzen Schlagzeit, eine gewisse, bereits zusammengedrückte Erdmasse vor der Pfahlspitze ein zusammenhängendes Gebiet, welches durch Anhaftung und Reibungskraft in einem gewissen Zusammenhange mit der Pfahlspitze steht. Dessen Teilchen können darum nicht, wie Stern voraussetzt, sich trennen, nach rechts und links verschiedene Verschiebungswege einschlagen, so daß also nach Stern unter der Pfahlspitze die Verdrängungsstrecke nach unten hin in der Mittelachse 0 wird. Vielmehr bildet sich ein kalottenförmiger (kürbisartig) geformter Verdrängungskörper, dessen am tiefsten vorgeschobene Spitze auf den Abbildungen zu sehen, d. h. durch meine Versuche nachgewiesen und durch die oben erörterten wirklichen Vorgänge zwanglos erklärt ist (vergl. Schwedler, Zentralbl. d. Bauverw. 1891, S. 95).

Da in der Natur bei kontinuierlichen Vorgängen keine Sprünge und Unstetigkeiten vorkommen, so erscheint die eckige Begrenzung des Verdichtungsgebietes nach Stern von vornherein wenig wahrscheinlich. Insbesondere hat die Pfahlspitze nach Sterns Auffassung senkrecht unter der mathematischen Spitze selbst keine Verdrängungswirkung nach unten.

Dies trifft nicht zu. Beim wirklichen Rammvorgang finden, wie meine Versuche beweisen, sowohl direkt unter der Spitze als auch in ihrer Nähe noch recht bedeutende Verdrängungen statt, und das Verdichtungsgebiet läuft durchaus nicht immer an der Spitze auf 0 aus.

Abb. 40.



Eine Ausnahme hiervon bilden die Pfähle mit Spitze $= 2d$. Bei ihnen läuft das Verdichtungsgebiet an der Spitze auf 0 aus und hat das Verdichtungsgebiet eine Aehnlichkeit mit dem von Baudirektor Stern durch die geometrische Methode gefundenen Achsenschnitt.

Auch habe ich durch die Mittelschnitte und die räumliche Auffassung den wahren Sachverhalt verfolgt im Gegensatz zu anderen Versuchen, die stets von der Wirklichkeit abweichende Beschränkungen einführten.

In seinem geometrisch abgegrenzten Verdichtungsgebiet nimmt zwar auch Stern eine zunehmende Verdichtung des Bodens an, ohne jedoch auf die Größe und Beschaffenheit derselben näher einzugehen. Dagegen weisen die Ergebnisse der Gewichtsproben (Wägungen) meiner Versuche deutlich ein ganz bestimmtes gesetzmäßiges, aber durchaus veränderliches Verdichten im Verdichtungsgebiet selbst nach, dessen ungefähre, funktionaler Verlauf aus den Gewichtskurven in wagerechten Schnittebenen der Abb. 36 bis 39 hervorgeht.

Das Maximum der Verdichtung findet stets in radialem Abstand $=$ ungefähr Pfahldurchmesser von der Pfahlachse statt, während die äußerste Grenze der Verdichtung stets im Abstände von rund d von dem Pfahlmantel liegt und leicht nach oben sich verjüngt, wobei die Ausstrahlung der Verdichtung bis $1\frac{1}{2}d$ verläuft. Das Verdichtungsgebiet an der Spitze hängt von der Form derselben ab, hat jedoch auf die Gestaltung des Verdichtungsgebietes am Pfahlmantel keinen besonderen Einfluß. Die Wirkungsweise der Spitze ist bei den Versuchen erklärt.

III. Belastungsproben.

In der Zusammenstellung der Versuchspfähle Spalte 14 sind für die Pfahlformen 6Aa, 6,8Ba, 5,8/7,8Da die größten Tragfähigkeiten T bei einer Rammtiefe von 700 mm und für die Pfahlform 5/7Ca die größte Tragfähigkeit T bei einer Rammtiefe von 746 mm angegeben.

Diese Tragfähigkeiten T wurden durch Belastungsproben festgestellt. Der hierbei verwendete Belastungsstuhl ist in den Abb. 41 u. 42 dargestellt und beschrieben.

Unter der größten Tragfähigkeit T eines Pfahles ist die äußerste Belastungsgrenze dieses Pfahles zu verstehen.

Die Ermittlung dieser äußersten Belastungsgrenze geschah durch langsames Aufbringen der Last bei steter Beob-

achtung des Pfahles und der Meßvorrichtungen. Als diese Grenze wurde der Zustand des Pfahles angesehen, bei dem eine geringe Laststeigerung genügte, denselben zum steten Einsinken zu bringen, so daß das Erdreich dem Eindringen des belasteten Pfahles keinen Widerstand mehr entgegenzusetzen vermochte.

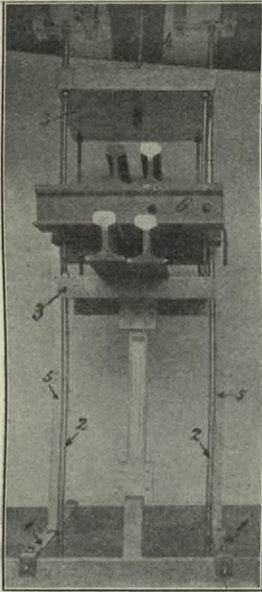


Abb. 41.

Statische Pfahlbelastung durch Gewichte.
Pfahlspitze belastet (6 Ca Nr. XXXVII).

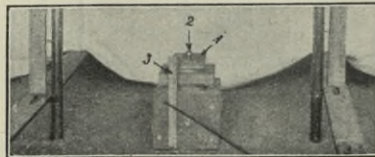
Anordnung des Belastungsstuhls:

1. Verstellbare Flacheisen.
2. Glatte Stahlrohre an die verstellbaren Flacheisen angeschweißt, an der Decke in verschiebbaren Flacheisen festgeschraubt, zur Führung des Belastungsstuhls.
3. Eisenplatten — verstärkt durch Winkeleisen und mit 4 Stück Rundeisen zusammengeschrabt — zur Aufnahme der Gewichte.
4. Rundeisen mit Haken und Spannschraube zum Aufhängen und Bewegen des Belastungsstuhls beim Auflegen der Gewichte vor dem Belasten.
5. Maßstäbe.
6. Gewichte (geeichte Eisenbahnschienen).

Abb. 42.

Druckpunktskappe zur zentrischen Uebernahme der Belastung:

1. Eiserne, innen hohle und auf den besonders gearbeiteten Pfahlkopf passende Haube. Sie enthält auf ihrer Oberfläche eine Höhlung zur Aufnahme der
2. Stahlkugel von 15,8 mm \varnothing . Die Stahlkugel fügt sich beim Aufsetzen des Belastungsstuhls in die Höhlung der Eisenplatte und sichert auf diese Weise eine zentrische Belastung des Pfahls.
3. Am Pfahl angebrachter Maßstab zum Ablesen des Einsinkens.



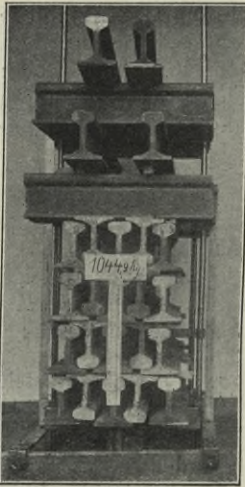


Abb. 43.

Belastung eines zylindrischen Pfahls
mit Spitze = 1 d; 6,8 Ba Nr. XXXVIII.

Aufgebrachte Traglast = 1044,90 kg; Ein-
senkung = 2,5 mm bei einer Ramm-
tiefe von 750 mm.

Die Ergebnisse der Belastungsproben sind, wie folgt,
zusammengestellt:

Beschreibung der Belastungsproben.

Gerammt wurde: Pfahl 6 Aa Nr. XXXVI.

Fallhöhe des Rambahären 0,85 m.

Gewicht des Rambahären 3920 g.

Länge des Pfahles 1 m.

Gewicht des Pfahles 3384 g.

Der Pfahl zeigte folgende Einsenkungen:

Zeit (1913) Tag	Zahl der Schläge	Ein- senkung in mm	Zeit (1913) Tag	Zahl der Schläge	Ein- senkung in mm
4. 7.	10	93	4. 7.	140	507
"	20	145	"	150	530
"	30	189	"	160	551
"	40	230	"	170	571
"	50	265	"	180	590
"	60	294	"	190	610
"	70	320	"	200	629
"	80	350	"	210	649
"	90	378	"	220	669
"	100	405	"	230	689
"	110	432	"	240	709
"	120	458	"	250	729
"	130	483	"	260	749

Gesamte Rammtiefe 749 mm.

Der Pfahl zog in den letzten 6 Hitzten je **20** mm und beim letzten Rammschlage **2** mm bei der gesamten Rammtiefe von 749 mm.

Die Belastung wurde nach folgender Tabelle aufgebracht:

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	Vermittelt
7. 7.	<u>8¹⁵</u>	255,4	1	—	—	1
„	<u>8³⁰</u>	293,6	3	—	—	3
„	<u>9⁰⁰</u>	477,5	4	—	—	4
8. 7.	12 ⁰⁰	477,5	7	—	—	7
„	<u>7¹⁵</u>	553,1	8	—	8	8
„	<u>7⁴⁵</u>	689,7	9	—	9	9
„	<u>8¹⁵</u>	798,4	41	—	41	41
„	<u>8²⁰</u>	798,4	50	—	49	49
„	<u>8²⁵</u>	798,4	53	—	52	52
„	<u>8³⁰</u>	798,4	56	—	55	55
„	<u>8⁴⁵</u>	798,4	61	—	60	60
9. 7.	8 ³⁰	798,4	73,7	—	71,5	73

Die Zeiten von abends 6⁰⁰ bis morgens 6⁰⁰ sind durch Unterstreichen der Minutenzahlen hervorgehoben.

Die Einsenkungen wurden an 3 Stellen abgelesen: An links und rechts an den Führungsrundeisen fest angebrachten Maßstäben mit Millimeterteilung mittels vorn zugespitzter, am Belastungsstuhl angeschraubter kleiner Eisenstäbchen und später am Pfahle selbst (Abb. 41 u. 42).

Mit der Last von **798,4** kg kam der Pfahl in stetige Bewegung. Auch in der Zeit vom 8. 7. 8⁴⁵ bis 9. 7. 8³⁰, also innerhalb 24 Stunden, sank der Pfahl um weitere 13 mm. Er vermochte daher diese Last nicht mehr zu tragen. Die Laststeigerung von 689,7 kg auf 798,4 kg erfolgte jedoch zu rasch. Wäre die Laststeigerung stetig und langsam erfolgt, so wäre der Pfahl vielleicht bei der Last von 798,4 kg nochmals zur Ruhe gekommen. Es konnte so die Grenze der äußersten Belastung nicht genau festgelegt werden, dieselbe liegt vermutlich zwischen der Last von **689,7** und **798,4** kg.

Derselbe Pfahl 6 Aa wurde nun als Pfahl Nr. XXXVII

in der Weise gerammt und belastet, daß zunächst nur die Spitze des Pfahles eingerammt und belastet wurde.⁵⁾

1. Rammung des Pfahles 6 *Aa* Nr. XXXVII
(Spitzenrammung).

Fallhöhe des Rammhärens 0,85 m.
Gewicht des Rammhärens 3920 g.
Gewicht des Pfahles 3834 g.
Länge des Pfahles 1 m.

Zeit der Rammung 10. 7. 13.

Die Spitze sank bei 7 Rammschlägen um 56 mm ein.
Ziehen beim letzten Rammschlag: 2,2 mm.

1. Belastung des Pfahles 6 *Aa* Nr. XXXVII (Spitzenbelastung). Rammtiefe = 56 mm = annähernde Spitzenlänge.

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
10. 7.	8 ⁰⁰	0	0	—	0	0
"	8 ¹⁵	103,3	0,8	—	0,9	0,8
"	8 ⁴⁵	178,3	0,8	—	0,9	0,8
11. 7.	12 ³⁰	178,3	1,4	—	2,0	1,7
"	12 ⁴⁵	217,0	1,7	—	2,0	1,8
"	6 ⁰⁰	217,0	1,7	—	2,0	1,8
"	7 ⁰⁰	217,0	1,7	—	2,0	1,8
13. 7.	8 ³⁰	255,7	1,7	—	2,0	1,8
"	9 ⁰⁰	255,7	2,0	—	2,0	2,0
14. 7.	7 ⁰⁰	255,7	2,2	—	2,2	2,2
"	7 ¹⁵	292,5	2,4	—	2,4	2,4
"	7 ⁴⁵	329,3	3,0	—	3,0	3,0
"	8 ¹⁵	366,5	4,0	—	4,0	4,0
"	8 ³⁰	366,5	4,7	—	4,7	4,7
"	8 ⁴⁵	366,5	4,7	—	4,7	4,7
"	8 ⁵⁰	402,6	5,9	—	5,0	5,5
"	9 ⁰⁰	402,6	7,7	—	6,6	7,2
"	9 ⁰⁵	402,6	7,8	—	6,9	7,4
"	9 ¹⁰	439,1	15,9	—	14,9	13,9
"	9 ¹²	439,1	18,9	—	16,9	17,9
"	9 ¹⁵	439,1	19,8	—	17,1	18,5
15. 7.	6 ³⁰	439,1	38,8	—	36,4	37,6
"	12 ³⁰	439,1	40,8	—	38,8	39,8
"	6 ⁰⁰	439,1	42,1	42,0	40,9	42,0

⁵⁾ Vor der Rammung dieses Pfahles Nr. XXXVII wurde die Kiste ausgeräumt und der Sand frisch aufgestammt, während die nun folgenden Rammungen und Belastungen dieses Pfahles im gleichen Sande derselben Kiste nacheinander vor sich gingen.

Hier ist die äußerste Belastungsgrenze die Last von **402,6** kg, die der Pfahl 15 Minuten getragen hat und hierbei nur 1,9 mm einsank. Die kleine Laststeigerung von 36,5 kg auf 439,1 kg genügte, den Pfahl in unaufhaltsame Bewegung zu bringen. Er sank rasch von 7,4 auf 13,9 mm und in weiteren 15 Minuten um 4,6 mm auf 18,5 mm. Auch am nächsten Tage war er noch nicht zur Ruhe gekommen und sank bis abends 6⁰⁰ Uhr auf 42 mm., womit die Belastung abgebrochen wurde. Der Pfahl war somit durch Rammen 56 mm und durch Belasten 42 mm, im ganzen also 98 mm eingesunken.

Derselbe Pfahl 6 Aa wurde nun weiter gerammt und wieder belastet nach der Rammung.

2. Rammung des Pfahles 6 Aa Nr. XXXVII.

Fallhöhe, Bärgewicht usw. bei der 1. Rammung, Pfahlgewicht: 3834 g.

Zeit (1913)		Zahl der Schläge	Einsenkung in mm bei der 2. Rammung	Einsenkung in mm überhaupt
Tag	Stunde			
15. 7.	7 ³⁰	10	22	120
"	"	20	44	142
"	"	30	66	164
"	"	40	87	185
"	"	50	108	206

Ziehen beim letzten Schlag 2,1 mm, Rammtiefe 206 mm.

Nach dieser Rammung wurde der Pfahl belastet wie folgt:

2. Belastung des Pfahles 6 Aa Nr. XXXVII.

Zeit (1913)		Aufgebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
15. 7.	8 ³⁰	0	0	0	0	0
"	9 ³⁰	332,9	0	0	0	0
16. 7.	6 ³⁰	406,3	0	0	0	0
"	12 ³⁰	406,3	0	0	0	0
"	12 ⁴⁵	479,7	3,5	4,0	2,8	3,4
"	6 ⁰⁰	479,7	5,9	6,0	4,9	5,6
"	7 ⁰⁰	516,1	5,9	6,0	4,9	5,6
"	7 ³⁰	516,1	10,0	10,0	8,4	9,4
"	7 ⁴⁵	516,1	12,0	11,1	9,9	11,0
"	8 ¹⁵	516,1	12,1	11,9	10,6	11,5
17. 7.	6 ¹⁵	516,1*)	16,0	16,0	14,1	15,0
"	6 ⁴⁵	552,5	25,0	24,5	22,9	24,1
"	6 ⁰⁰	552,5	80,0	81,3	78,0	79,0

*) Äußerste Belastungsgrenze.

Bei der Einsenkung von 79 mm wurde die Belastung abgebrochen und die Last abgetragen.

Nach dieser 2. Belastung erfolgte die 3. Rammung und hierauf die 3. Belastung desselben Pfahles 6 Aa.

3. Rammung des Pfahles 6 Aa Nr. XXXVII.

Fallhöhe, Bärge wicht usw. wie bei den vorhergehenden Rammungen, Pfahlgewicht 3334 g.

Zeit (1913)		Zahl der Schläge	Einsenkung in mm	Einsenkung in mm überhaupt
Tag	Stunde			
17. 7.	<u>7³⁰</u>	10	24	309 = 285 + 24
"	"	20	47	332
"	"	30	67	352
"	"	40	87	372
"	"	50	106	391
"	"	60	125	410
"	"	70	144	429
"	"	80	163	448
"	"	90	182	467
"	"	100	201	486

Ziehen beim letzten Schlag 1,9 mm, Rammtiefe 486 mm.

3. Belastung des Pfahles 6 Aa Nr. XXXVII.

Zeit (1913)		Aufgebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
17. 7.	<u>8³⁰</u>	444,2	0	0	0	0
"	<u>8⁵⁰</u>	444,2	0	0	0	0
18. 7.	<u>6¹⁵</u>	444,2	1,4	1,5	1,5	1,5
"	<u>6⁴⁵</u>	481,2	1,7	1,7	1,9	1,8
"	<u>12³⁰</u>	481,2	2,4	2,8	2,5	2,6
"	<u>12⁴⁰</u>	498,8	2,4	2,8	2,5	2,6
"	<u>6⁰⁰</u>	498,8	5,1	5,0	6,1	5,4
"	<u>7³⁰</u>	517,3	5,1	5,0	6,1	5,4
"	<u>7⁵⁰</u>	553,6	5,1	5,0	6,1	5,4
"	<u>8⁰⁷</u>	589,9	5,2	6,0	7,1	6,1
"	<u>8¹⁰</u>	589,9	5,3	6,3	7,3	6,3
"	<u>8³⁰</u>	589,9	7,8	7,1	10,0	8,3
"	<u>8³⁵</u>	589,9	8,3	7,1	10,2	8,5

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
19. 7.	6 ¹⁵	589,9	10,3	10,5	14,0	11,6
"	12 ⁴⁵	589,9	13,4	10,8	16,0	13,4
"	6 ¹⁵	599,9	15,3	11,5	16,1	14,3
"	6 ⁵⁰	613,5 *)	17,4	14,0	16,1	15,8
"	7 ³⁰	621,4	19,3	16,0	18,0	17,8
"	8 ⁴⁵	621,4	20,4	17,3	19,5	19,1
"	9 ⁰⁰	630,3	21,3	17,9	19,9	19,7
20. 7.	8 ¹⁵	630,3	29,3	25,5	27,0	27,3
"	1 ⁰⁰	648,5	39,3	35,0	37,5	37,3
"	1 ³⁰	656,5	42,3	37,0	40,1	39,8
21. 7.	6 ³⁰	656,5	57,3	43,8	55,0	52,0
"	6 ³⁰	656,5	61,3	55,5	58,7	61,6

*) Außerste Belastungsgrenze.

Der Pfahl ging nach der Entlastung von 6³⁰ bis 7³⁰ um 1,6 mm zurück, so daß er also im ganzen 60 mm eingesunken war (Zurückfederung nach der Entlastung 1,6 mm).

Nach der 3. Belastung dieses Pfahles erfolgte die 4. Rammung und hierauf die 4. Belastung.

4. Rammung des Pfahles 6 Aa Nr. XXXVII.

Fallhöhe, Bärgewicht usw. wie bei den vorhergehenden Rammungen, Pfahlgewicht 3334 g.

Zeit (1913)		Zahl der Schläge	Einsenkung in mm	Einsenkung in mm überhaupt
Tag	Stunde			
22. 7.	7 ³⁰	10	17	563
"	"	20	34	580
"	"	30	51	597
"	"	40	68	614
"	"	50	84	630
"	"	60	100	646
"	"	70	116	662
"	"	80	132	678
"	"	90	147	693
"	"	100	162	708
"	"	110	177	723
"	"	120	192	738

Ziehen beim letzten Schlag 1,5 mm, Rammtiefe 738 mm.

4. Belastung des Pfahles 6 Aa Nr. XXXVII.

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
23. 7.	7 ⁴⁵	0	0	0	0	0
"	8 ⁰⁰	510,6	0,3	0,9	1,4	0,9
"	9 ⁰⁰	510,6	0,8	0,9	1,5	1,1
24. 7.	6 ¹⁵	510,6	0,8	0,9	1,5	1,1
"	12 ³⁰	583,4	1,5	1,9	2,5	2,0
"	6 ⁰⁰	619,6	3,1	2,9	3,9	3,3
"	9 ⁰⁰	658,0	5,3	4,4	5,4	5,0
25. 7.	6 ¹⁵	658,0	6,4	5,9	6,4	6,2
"	6 ³⁰	694,4	6,4	5,9	6,4	6,2
"	12 ³⁰	694,4	8,8	8,4	7,9	8,4
"	12 ⁴⁵	729,6	8,8	8,4	7,9	8,4
"	6 ⁰⁰	729,6	16,3	12,9	13,0	14,1
"	7 ⁰⁰	766,7	19,4	16,4	16,1	17,3
"	7 ³⁰	766,7	20,3	17,4	17,2	18,3
"	8 ⁰⁰	766,7	21,0	18,0	17,6	18,9
"	9 ⁰⁰	766,7	21,8	19,0	18,4	19,7
26. 7.	6 ³⁰	766,7 *)	24,4	22,0	21,2	22,5
"	6 ⁴⁵	801,6	24,4	22,0	21,2	22,5
"	12 ³⁰	801,6	39,2	37,0	36,3	37,5
"	12 ⁴⁵	825,1	39,2	37,0	36,3	37,5
"	6 ⁴⁵	825,1	52,6	50,6	50,3	51,2
"	7 ¹⁵	874,8	71,3	—	70,4	70,9

*) Aeufferste Belastungsgrenze.

Der Pfahl sank unaufhaltsam weiter.

Damit war die Rammung und Belastung des Pfahles 6 Aa Nr. XXXVII beendet.

Es folgte die

Rammung des Pfahles 6,8 Ba Nr. XXXVIII.

Länge des Pfahles . . . 1,00 m.

Gewicht des Pfahles . . . 3110 g (mit 1 Mansch.).

Gewicht des Rammbären 3920 g.

Fallhöhe des Rammbären 0,85 m.

Zeit (1913)		Zahl der Schläge	Ein-senkung in mm	(Zeit 1913)		Zahl der Schläge	Ein-senkung in mm
Tag	Stunde			Tag	Stunde		
30. 7.	<u>8⁰⁰ bis 8³⁰</u>	10	65	30. 7.	<u>8⁰⁰ bis 8³⁰</u>	190	465
"	"	20	93	"	"	200	488
"	"	30	120	"	"	210	509
"	"	40	145	"	"	220	529
"	"	50	168	"	"	230	546
"	"	60	187	"	"	240	564
"	"	70	207	"	"	250	581
"	"	80	226	"	"	260	596
"	"	90	246	"	"	270	612
"	"	100	265	"	"	280	627
"	"	110	285	"	"	290	643
"	"	120	306	"	"	300	657
"	"	130	328	"	"	310	671
"	"	140	351	"	"	320	686
"	"	150	373	"	"	330	702
"	"	160	396	"	"	340	718
"	"	170	419	"	"	350	734
"	"	180	442	"	"	360	750

Der Pfahl zog beim letzten Schlag 1,6 mm.

Nachdem der Pfahl 6,8 *Ba* gerammt war, wurde er, wie folgt, belastet:

Belastung des Pfahles 6,8 *Ba* Nr. XXXVIII.

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
31. 7.	<u>7³⁰</u>	406,5	0	0	0	0
"	<u>7⁵⁵</u>	481,8	0,4	0	0,2	0,3
"	<u>8³⁰</u>	592,0	0,8	0,4	0,3	0,5
1. 8.	<u>6³⁰</u>	592,0	0,9	0,4	0,3	0,5
"	<u>6⁴⁵</u>	663,1	0,9	0,4	0,3	0,5
"	<u>12³⁰</u>	663,1	1,0	0,8	0,5	0,8
"	<u>12⁴⁵</u>	698,7	1,0	0,8	0,5	0,8
"	<u>6⁰⁰</u>	698,7	1,0	0,8	0,5	0,8
"	<u>6³⁰</u>	735,2	1,0	0,8	0,5	0,8
"	<u>7¹⁵</u>	771,8	1,0	1,1	0,8	1,0
"	<u>7³⁰</u>	809,0	1,0	1,1	0,8	1,0
"	<u>8⁰⁵</u>	881,6	1,1	1,2	1,4	1,2

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
2. 8.	6 ³⁰	881,6	1,1	1,4	1,6	1,4
"	6 ⁴⁵	919,8	1,1	1,4	1,6	1,4
"	12 ³⁰	919,8	1,1	1,4	2,1	1,5
"	12 ⁴⁵	955,1	1,1	1,4	2,1	1,5
"	6 ³⁰	955,1	1,0	1,4	2,1	1,5
"	7 ⁴⁵	1044,9 *)	2,0	2,4	3,1	2,5
"	8 ⁰⁰	1121,5	4,9	4,3	5,6	4,9
3. 8.	8 ³⁰	1121,5	70,4	68,8	71,8	70,3

*) Aeüßerste Belastungsgrenze.

Entlastet wurde der Pfahl am 3. 8. von 9⁴⁵ bis 10¹⁵ und zeigte hierbei einen Rückgang um 1,5 mm.

Wie Pfahl 6 *Aa* Nr. XXXVII in einzelnen Abschnitten gerammt und belastet wurde, so wurde jetzt mit Pfahl 6 *Ba* Nr. XXXIX in einer frisch aufgestampften Kiste verfahren. Zunächst wurde wieder die Spitze gerammt.

1. Rammung des Pfahles 6,8 *Ba* Nr. XXXIX.

Länge des Pfahles 1,00 m.
Gewicht des Rammhärens . . 3920 g.
Gewicht des Pfahles 3775 g.
Fallhöhe des Rammhärens . . 0,85 m.

Der Pfahl sank nach 8 Schlägen 66 mm ein. Das Ziehen beim letzten Schlag betrug 4 mm. Die Zeit der Rammung war am 5. 8. 13.

1. Belastung des Pfahles 6,8 *Ba* (Spitzenbelastung) Nr. XXXIX.

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
5. 8.	9 ⁰⁰	148,9	0	0	0	0
6. 8.	6 ³⁰	148,9	0,2	0,3	0,2	0,2
"	12 ³⁰	185,5	0,5	0,5	0,6	0,5
"	6 ⁰⁰	321,4	0,5	0,5	0,6	0,5
"	6 ⁴⁵	357,8	0,9	1,0	1,2	1,0
"	7 ¹⁵	357,8	0,9	1,0	1,2	1,0
"	7 ⁴⁵	394,1	1,5	1,5	1,9	1,6

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
6. 8.	7 ⁵⁵	430,7	2,1	2,0	3,0	2,4
"	8 ⁰⁰	430,7	2,6	2,7	3,8	3,0
"	8 ¹⁰	430,7	3,4	3,5	4,6	3,8
7. 8.	6 ³⁰	430,7	5,3	6,5	6,3	6,0
"	12 ³⁰	466,2*)	12,3	13,0	13,5	12,9
"	6 ⁰⁰	502,8	46,6	47,3	47,7	47,2
"	6 ²⁰	502,8	46,6	47,3	47,7	47,7
"	6 ³⁰	519,9	47,1	47,8	48,2	47,7
"	6 ³⁵	529,9	56,6	56,5	57,3	56,5

*) Aeüßerste Belastungsgrenze.

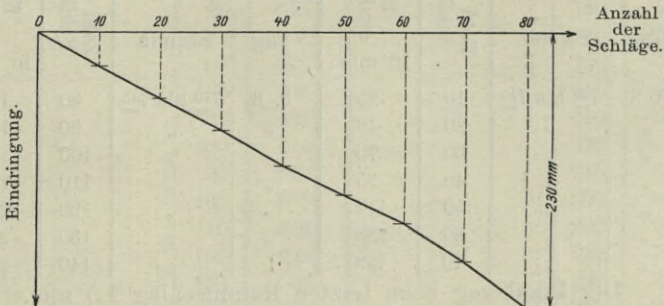
Nach dem Aufbringen der kleinen Lastzunahme von 10 kg von 519,9 bis auf 529,9 kg ging der Pfahl unaufhaltsam tiefer bis zu 56,5 mm, wo die Belastung abgebrochen wurde.

2. Rammung des Pfahles 6,8 Ba Nr. XXXIX.

Länge des Pfahles, Gewicht desselben usw. wie bei der 1. Rammung.

Zeit (1913)		Zahl der Schläge	Ein- senkung in mm	Ziehen bei jeder Hitze in mm	Bemerkungen
Tag	Stunde				
7. 8.	7 ²⁰ bis 7 ³⁰	10	28		} Zwängen des des Pfahles in der Führungs- rinne. *) Entfernen der unteren Pfahlman- schette.
"	"	20	56	28	
"	"	30	83	27	
"	"	40	113	30	
"	"	50*)	136	23	
"	"	60	164	28	
"	"	70	192	28	
"	"	80	230	28	

Abb. 44.



Bei den ersten 50 Schlägen zwängte sich durch das Quellen des Holzes der Pfahl in der Führungsrinne; er zog daher sehr unregelmäßig, wie der Verlauf der Rammkurve (Abb. 44) zeigt.

2. Belastung des Pfahles 6,8 Ba Nr. XXXIX.

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
7. 8.	<u>8⁵⁰</u>	476,4	0	0	0	0
"	<u>8⁵⁵</u>	476,4	2,0	1,8	2,5	2,1
"	<u>9⁰⁰</u>	476,4	4,5	4,8	5,0	4,8
8. 8.	<u>6³⁰</u>	476,4	13,5	14,3	13,8	13,9
"	<u>12³⁰</u>	495,0	17,8	17,7	17,7	17,7
"	<u>6⁰⁰</u>	523,0	39,0	38,3	38,8	38,7
"	<u>6⁴⁵</u>	541,2	40,5	39,9	40,5	40,3
"	<u>7⁰⁰</u>	558,8	49,3	48,8	49,5	49,1

Auf den, wie vorseitig ausgeführt, sehr unregelmäßig eingedrungenen Pfahl wurde die Last von 476,4 kg auf einmal aufgetragen; eine Last, bei der der Pfahl um rund 5 mm in 10 Minuten (8⁵⁰ bis 9⁰⁰) einsank, um nicht mehr zur Ruhe zu kommen, da er am nächsten Morgen bereits rund 14 mm eingedrungen war. Die weiteren kleinen Laststeigerungen um 29 kg auf 523 kg und um 28 kg auf 541,2 kg genügten daher, den Pfahl zum vollen Einsinken zu bringen. Diese Belastung kann daher durch die beiden genannten Momente (schlechtes Ziehen und zu rasches Lastaufbringen), die sich addieren, nicht bewertet werden.

3. Rammung des Pfahles 6,8 Ba Nr. XXXIX.

Fallhöhe, Bärgewicht und Pfahlänge wie bei 2. Rammung, Pfahlgewicht: 3110 g (1 Manschette entfernt).

Zeit 1913)		Zahl der Schläge	Ein- senkung in mm	Zeit (1913)		Zahl der Schläge	Ein- senkung in mm
Tag	Stunde			Tag	Stunde		
8. 8.	<u>7³⁰</u> bis <u>7⁴⁵</u>	10	25	8. 8.	<u>7³⁰</u> bis <u>7⁴⁵</u>	80	180
"	"	20	48	"	"	90	199
"	"	30	70	"	"	100	218
"	"	40	95	"	"	110	237
"	"	50	117	"	"	120	255
"	"	60	138	"	"	130	272
"	"	70	159	"	"	140	287

Der Pfahl zog beim letzten Rammschlag 1,5 mm.

3. Belastung des Pfahles 6,8 Ba Nr. XXXIX.

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
8. 8.	9 ⁰⁰	592,6	0	0	0	0
9. 8.	6 ³⁰	592,6	0	0	0	0
"	12 ³⁰	667,7	0,8	0,9	0,5	0,7
"	6 ⁰⁰	738,7	3,2	3,2	2,0	2,8
"	7 ⁰⁰	814,4	6,3	5,9	4,3	5,5
"	7 ¹⁰	887,6	9,3	8,4	7,0	8,2
"	7 ³⁰	887,6	13,8	12,9	11,5	12,7
10. 8.	7 ⁰⁰	887,6	18,5	16,9	15,0	16,8
"	8 ³⁰	922,6	18,6	17,2	15,2	17,0
"	9 ³⁰	958,0	25,1	23,9	21,9	23,6
"	10 ⁰⁰	958,0 *)	25,8	24,7	22,7	24,4
"	10 ¹⁵	995,1	28,8	26,6	25,5	27,0

*) Außerste Belastungsgrenze.

Der Pfahl kam bei der Last von 995,1 kg nicht mehr zur Ruhe. Derselbe zeigte nach der Entlastung keinerlei Rückgang. Die Rammung und Belastung dieses Pfahles war damit beendet.

Rammen des Pfahles 5,8/7,8 Da Nr. XXXX.

Gewicht des Rammhärens . . .	3920 g.
Fallhöhe des Rammhärens . . .	0,85 m.
Gewicht des Pfahles	2625 g.
Länge des Pfahles	0,94 m.

Zeit (1913)		Zahl der Schläge	Ein- senkung in mm	Zeit (1913)		Zahl der Schläge	Ein- senkung in mm
Tag	Stunde			Tag	Stunde		
12. 8.	7 ⁴⁵ bis 8 ¹⁵	10	91	12. 8.	7 ⁴⁵ bis 8 ¹⁵	160	517
"	"	20	129	"	"	170	538
"	"	30	164	"	"	180	560
"	"	40	196	"	"	190	580
"	"	50	226	"	"	200	600
"	"	60	256	"	"	210	619
"	"	70	285	"	"	220	637
"	"	80	314	"	"	230	655
"	"	90	343	"	"	240	671
"	"	100	371	"	"	250	688
"	"	110	398	"	"	260	704
"	"	120	425	"	"	270	720
"	"	130	449	"	"	280	735
"	"	140	473	"	"	290	750
"	"	150	495	"	"		

Der Pfahl zog beim letzten Schlag 1,5 mm.

Belastung des Pfahles 5,8/7,8 *Da* Nr. XXXX.

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
13. 8.	<u>800</u>	523,8	0	0	0	0
14. 8.	<u>630</u>	523,8	0	0	0	0
"	<u>1230</u>	594,0	0	0	0	0
"	<u>600</u>	631,0	0	0	0	0
"	<u>645</u>	669,3	0	0	0	0
"	<u>650</u>	740,9	0	0	0	0
"	<u>800</u>	740,9	0	0	0	0
15. 8.	<u>630</u>	813,0	0,1	0,1	0,1	0,1
"	<u>1230</u>	850,1	0,1	0,1	0,1	0,1
"	<u>600</u>	888,4	0,5	0,2	1,0	0,6
"	<u>645</u>	961,4	0,5	0,4	1,0	0,6
"	<u>715</u>	1033,9	0,5	0,4	1,0	0,6
"	<u>815</u>	1141,9	2,3	0,4	0,8	1,2
"	<u>830</u>	1178,4	2,3	0,4	0,9	1,2
16. 8.	<u>630</u>	1178,4	2,5	1,0	1,5	1,7
"	<u>1230</u>	1214,2	2,5	1,0	1,5	1,7
"	<u>600</u>	1289,8	3,3	1,0	2,2	2,2
"	<u>730</u>	1411,5	7,6	5,4	7,1	6,7
"	<u>745</u>	1450,1 *)	8,7	6,2	8,1	7,7
"	<u>810</u>	1504,3	10,8	9,2	10,7	10,2
"	<u>815</u>	1549,2	14,4	11,4	13,9	13,2
"	<u>820</u>	1549,2	16,0	13,4	15,5	15,0
17. 8.	<u>730</u>	1549,2	76,3	—	76,5	76,4

*) Aeüßerste Belastungsgrenze.

Damit war die Belastung dieses Pfahles beendet.

Nun wurde wieder Pfahl 5,8/7,8 *Da* als Pfahl Nr. XXXXI in einer frisch aufgestampften Kiste in einzelnen Intervallen gerammt und belastet.

1. Rammung des Pfahles 5,8/7,8 *Da* Nr. XXXXI
(Spitzenrammung).

Fallhöhe, Gewicht des Rammhärens, Pfahllänge wie bei Pfahl 5,8/7,8 *Da* Nr. XXXX, jedoch Pfahlgewicht: 3000 g (mit 2 Manschetten).

Der Pfahl sank im ganzen 72 mm ein.

Zeit: 18. 8. 800.

1. Belastung des Pfahles 5,8/7,8 Da Nr. XXXXI.
(Spitzenbelastung.)

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
19. 8.	7 ¹⁵	218,6	0	0	0	0
"	7 ³⁰	257,2	4,8	5,8	5,6	5,4
"	8 ⁰⁰	257,2	7,0	6,9	6,8	6,9
20. 8.	6 ³⁰	257,2	9,2	8,3	8,8	8,8
"	12 ³⁰	275,2*)	16,4	15,8	16,3	16,2
"	6 ⁰⁰	285,4	21,8	20,8	21,6	21,4
"	7 ⁰⁰	293,4	22,4	21,2	22,2	21,9
"	8 ⁰⁰	305,1	27,4	24,8	26,5	26,2
21. 8.	6 ³⁰	305,1	37,7	35,8	37,4	37,0
"	12 ³⁰	315,1	39,2	36,8	38,5	38,2
"	6 ³⁰	315,1	43,7	41,5	43,2	42,8
"	6 ⁴⁵	315,1	44,2	41,8	43,4	43,1

*) Aeufferste Belastungsgrenze.

2. Rammung des Pfahles 5,8/7,8 Da Nr. XXXXI.

Fallhöhe, Rammbürgewicht usw. wie bei Pfahl 5,8/7,8 Da Nr. XXXXI der 1. Rammung.

Zeit (1913)	Zahl der Schläge	Ein- senkung in mm
Tag		
21. 8.	10	40
"	20	82
"	30	126
"	40	165

2. Belastung des Pfahles 5,8/7,8 Da Nr. XXXXI.

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
21. 8.	8 ⁴⁵	418,9	0	0	0	0
22. 8.	6 ³⁰	418,9	4,0	3,5	3,6	3,7
"	12 ³⁰	455,4	4,5	5,5	5,8	5,3
"	6 ⁰⁰	491,0	8,6	9,5	9,7	9,3
"	7 ¹⁵	528,1*)	11,6	13,5	15,6	13,6
"	7 ⁴⁵	563,3	18,0	19,5	22,1	19,8
"	8 ⁰⁰	563,3	19,0	21,8	23,1	21,3
23. 8.	6 ³⁰	563,3	22,8	24,5	26,9	24,7
"	12 ³⁰	583,0	25,5	28,5	29,6	27,9
"	6 ⁰⁰	583,0	26,5	30,5	30,3	30,0

*) Aeufferste Belastungsgrenze.

3. Rammung des Pfahles 5,8/7,8 Da Nr. XXXXI.

Rambärgewicht usw. wie bei der 2. und 1. Rammung dieses Pfahles, nur das Pfahlgewicht betrug 2625 g.

Zeit (1913)		Zahl der Schläge	Einsenkung in mm
Tag	Stunde		
23. 8.	6 ³⁰ bis 6 ⁴⁵	10	31
"	"	20	62
"	"	30	93
"	"	40	123
"	"	50	152
"	"	60	180

Ziehen beim letzten Schlag 2,8 mm.

3. Belastung des Pfahles 5,8/7,8 Da Nr. XXXXI.

Zeit (1913)		Aufgebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
23. 8.	7 ³⁰	552,0	0	0	0	0
"	8 ³⁰	663,7	2,4	2,5	3,1	2,7
24. 8.	7 ³⁰	700,2	5,6	6,0	6,4	6,0
25. 8.	6 ³⁰	775,6	10,2	11,0	11,7	11,0
"	12 ³⁰	811,7*	11,4	12,0	12,7	12,0
"	6 ⁰⁰	868,1	21,9	22,3	22,7	22,3
"	6 ³⁰	904,5	26,3	26,2	27,2	27,0

*) Aeufferste Belastungsgrenze.

Bei der Entlastung des Pfahles (von 6³⁰ bis 6⁴⁵) zeigte sich ein Rückgang desselben von 0,4 mm.

4. Rammung des Pfahles 5,8/7,8 Da Nr. XXXXI.

Länge des Pfahles	0,94 m	} wie bei der 3. Rammung dieses Pfahles.
Fallhöhe des Rambären	0,85 m	
Gewicht des Pfahles	2625 g	
Gewicht des Rambären	3920 g	

Zeit (1913)	Zahl der Schläge	Einsenkung in mm
Tag		
25. 8.	10	25
"	20	50
"	30	74
"	40	98
"	50	116
"	60	137
"	70	157
"	80	177

4. Belastung des Pfahles 5,8/7,8 Da Nr. XXXXI.

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
26. 8.	6 ⁴⁵	956,9	1,0	1,0	1,0	1,0
"	7 ⁰⁰	956,9	1,0	1,0	1,0	1,0
"	8 ⁰⁰	1103,8	11,4	11,5	11,4	11,4
"	8 ¹⁵	1143,5	15,0	15,3	15,5	15,2
27. 8.	6 ³⁰	1143,5*)	20,9	20,5	20,9	20,7
"	12 ³⁰	1201,2	28,9	28,5	29,0	28,8
"	6 ⁰⁰	1239,2	32,4	32,6	33,0	32,7
"	6 ⁴⁵	1297,8	36,7	36,7	38,0	37,1

*) Aeufferste Belastungsgrenze.

Die Rammung und Belastung des Pfahles 5,8/7,8 Da Nr. XXXXI war damit beendet.

Rammen des Pfahles 5/7 Ca Nr. XXXXV.

Gewicht des Rammbaren 3920 g,

Fallhöhe des Rammbaren 0,85 m,

Gewicht des Pfahles 3650 g,

Länge des Pfahles 1,035 m.

Zeit (1913)	Zahl der Schläge	Ein- senkung in mm	Zeit (1913)	Zahl der Schläge	Ein- senkung in mm
Tag			Tag		
25. 9.	10	72	25. 9.	150	500
"	20	115	"	160	523
"	30	153	"	170	544
"	40	187	"	180	562
"	50	220	"	190	583
"	60	251	"	200	603
"	70	283	"	210	622
"	80	314	"	220	640
"	90	344	"	230	658
"	100	373	"	240	677
"	110	401	"	250	695
"	120	428	"	260	714
"	130	452	"	270	730
"	140	477	"	280	746

Der Pfahl zog beim letzten Schlag 1,6 mm.

Belastung des Pfahles 5/7 Ca Nr. XXXXV.

Zeit (1913)		Auf- gebrachte Last in kg	Einsenkung in mm			
Tag	Stunde		links	Pfahl	rechts	vermittelt
21. 9.	10 ⁰⁰	943,2	0	0	0	0
"	11 ⁰⁰	943,2	0,9	0,5	0,7	0,7
"	11 ³⁰	1017,8	2,6	2,0	3,2	2,6
"	12 ⁰⁰	1017,8	2,9	2,5	3,7	3,0
22. 9.	6 ³⁰	1017,8	4,9	4,5	5,5	5,0
"	12 ³⁰	1053,4	4,7	4,9	5,7	5,1
"	6 ⁰⁰	1125,0	10,4	10,0	11,5	10,6
"	7 ¹⁵	1171,0	12,9	12,0	13,7	12,9
23. 9.	6 ³⁰	1171,0*)	19,4	18,0	20,2	19,2
"	12 ³⁰	1201,7	23,4	21,2	23,2	22,6
"	6 ⁰⁰	1222,8	27,9	25,7	27,3	27,0
"	6 ³⁰	1274,7	32,4	28,5	29,2	30,0

*) Äußerste Belastungsgrenze.

Damit war die Rammung und Belastung des Pfahles 5/7 Ca Nr. XXXXV beendet.

Für diese vier Pfahlformen ist aus ihren — auf den vorangegangenen Seiten niedergeschriebenen — Ramm- und Belastungsprotokollen die folgende Tabelle auf S. 87 zusammengestellt, aus der die äußersten Belastungsgrenzen \equiv Tragfähigkeiten T zu ersehen sind.

Folgerungen:

Die Belastung der vier Pfahlformen 6 Aa, 6,8 Ba, 5/7 Ca, 5,8/7,8 Da wurde gewählt, da sie denselben Raumgehalt und dieselbe Verdrängung besitzen, und daher vergleichende Schlüsse zulassen.

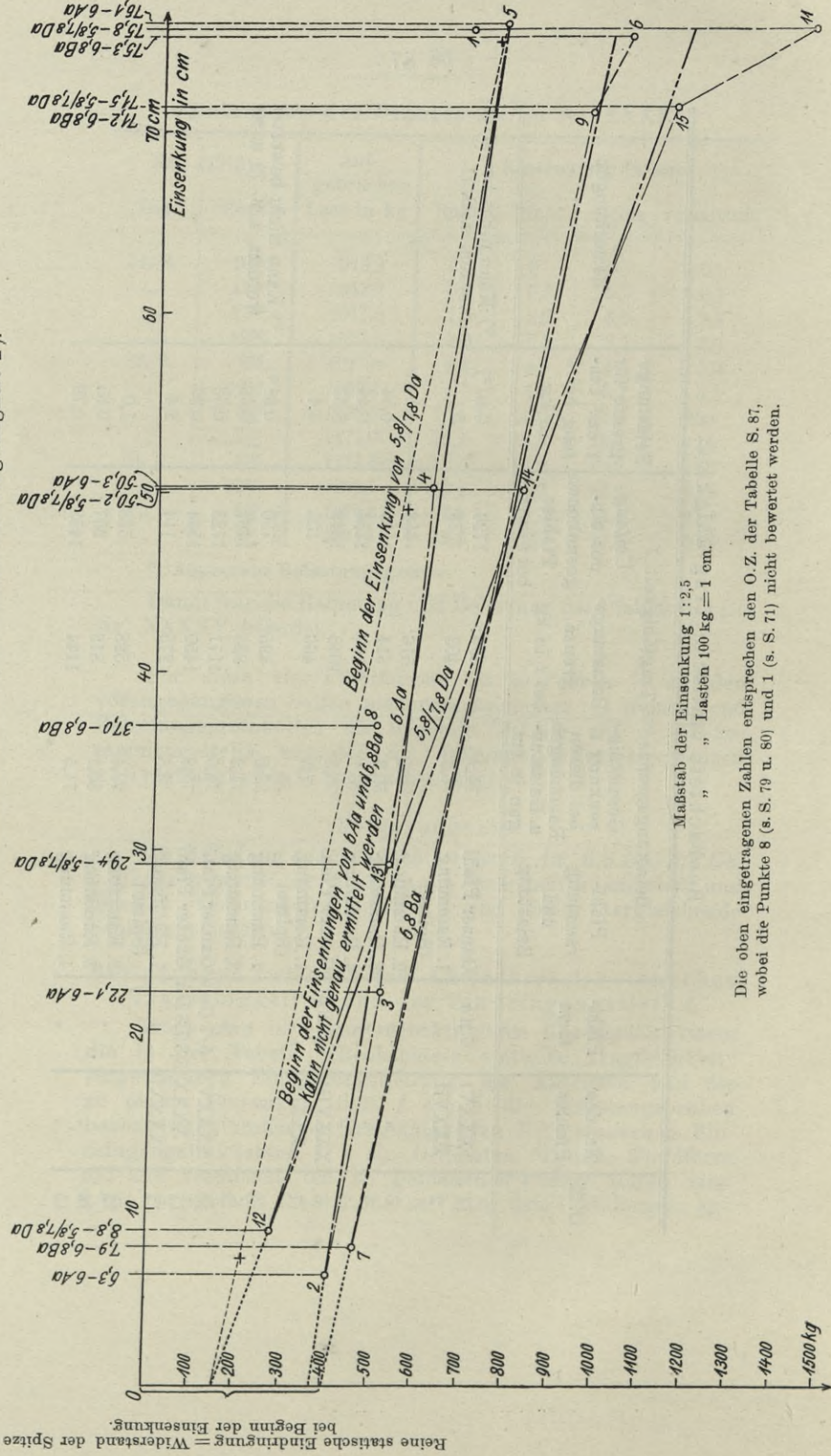
Beziehungen zwischen dem Anwachsen der statischen Tragfähigkeit T und der Eindringungstiefe t .

Trägt man in einem rechtwinkligen Koordinatensystem die in der Tabelle „Beobachtete statische Tragfähigkeit“ eingetragenen Einsenkungstiefen t als Abszissen und die zu dieser Einsenkungstiefe t durch die Belastungsproben beobachteten statischen Tragfähigkeiten T (\equiv statischem Eindringungswiderstand W) als Ordinaten für jede Pfahlform auf und vermittelt die so gefundenen Punkte durch eine Linie, so verläuft diese Linie bei allen drei Pfahlformen an-

Beobachtete statische Tragfähigkeit:

O. Z.	Nr. des Pfahles	Pfa- hl- form	Belastungsgrenze \equiv Tragfähigkeit T			Belastungs- grenze für 1 cm ² Um- fang bei t in kg	Bemerkungen
			Pfa- hl- ram- mung und Belastung	Gesamtein- senkung t bei diesen Rammungen u. Belastun- gen in cm	Belastungs- grenze bei t in kg		
1	XXXVI	6 A a	Ganzer Pfahl	74,9	690 ^{*)}	1726	*) Kann nicht bewertet werden, s. S. 71.
2	XXXVII	"	1. Rammung (Spitze)	6,3	408	79	
3	"	"	2. Rammung	22,1	516	458	*) Kann nicht bewertet werden, s. S. 79 u. 80.
4	"	"	3. Rammung	50,3	614	1135	
5	"	"	4. Rammung	76,1	767	1754	
6	XXXVIII	6,8 B a	Ganzer Pfahl	75,3	1045	1549	
7	XXXIX	"	1. Rammung (Spitze)	7,9	466	105	*) Kann nicht bewertet werden, s. S. 79 u. 80.
8	"	"	2. Rammung	37,0	495 ^{*)}	730	
9	"	"	3. Rammung	71,2	958	1461	*) Kann nicht bewertet werden, s. S. 79 u. 80.
10	XXXXV	5/7 C a	Ganzer Pfahl	74,6	1171	1723	
11	XXXXX	5,8,7,8 D a	Ganzer Pfahl	75,8	1450	1564	
12	XXXXXI	"	1. Rammung (Spitze)	8,8	275	114	
13	"	"	2. Rammung	29,4	528	513	
14	"	"	3. Rammung	50,2	812	957	
15	"	"	4. Rammung	71,5	1144	1453	

Abb. 45.
Beobachtete statische Widerstandslinien (oder Linien der Tragfähigkeit T).



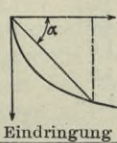
(Grenzlast in kg
(stat. Widerstand oder Tragfähigkeit).

nähernd geradlinig, d. h. die statische Tragfähigkeit T bzw. der statische Eindringungswiderstand W wächst linear mit der Eindringungstiefe t .

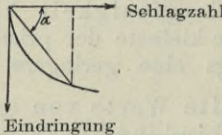
Der Abschnitt auf der Ordinatenachse würde die reine statische Eindringung der Spitze — belastet ohne Anwendung von Rammarbeit — darstellen (vergl. Abb. 45).

Die größte Tragfähigkeit hat der verjüngte Pfahl 5,8/7,8 Da , die kleinste der prismatische 6 Aa , wobei der verjüngte anfangs eine geringere Tragfähigkeit wegen

Ausgemittelte Werte von $\text{tg } \alpha$, T und A
verschiedener Pfahlformen.

1	2	3	4	5
Pfahl- form	Ein- dringungs- tiefe t in cm	$\text{tg } \alpha = \frac{\text{Eindringung}}{\text{Schlagzahl}}$	Außerste Belastungs- grenze ≡ Trag- fähigkeit T in kg	Verm. Ramm- arbeit A in mkg
				
		abgerundet		
6 Aa	10	—	—	43
	20	—	—	140
	30	—	—	266
	40	3,2	580	413
	50	3,0	630	563
	60	2,8	680	726
	70	2,6	730	901
6,8 Ba	10	—	—	56
	20	—	—	190
	30	—	—	343
	40	2,5	720	526
	50	2,3	800	729
	60	2,1	880	949
	70	2,0	960	1172
5,8/7,8 Da	10	—	—	40
	20	—	—	137
	30	—	—	250
	40	3,6	710	370
	50	3,3	830	506
	60	3,0	965	666
	70	2,7	1110	859

Ausgemittelte Werte von $\operatorname{tg} \alpha$, T und A
verschiedener Pfahlformen.

1	2	3	4	5
Pfahl- form	Ein- dringungs- tiefe t in cm	$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\text{Eindringung}}{\text{Schlagzahl}}$  Schlagzahl Eindringung	Aeufferste Belastungs- grenze ≡ Trag- fähigkeit T in kg	Verm. Ramm- arbeit A in mkg
		abgerundet		
6 A	10	—	Keine Belastungs- proben ausgeführt	91
	20	—		263
	30	—		474
	40	1,8		696
	50	1,6		953
	60	1,5		1217
	70	1,5		1502
6 A c	10	—	desgl.	27
	20	—		97
	30	—		213
	40	3,8		346
	50	3,4		486
	60	3,1		636
	70	2,9		792
6 B a	10	—	desgl.	40
	20	—		117
	30	—		213
	40	4,2		320
	50	3,8		436
	60	3,6		559
	70	3,3		696
3 A a	10	—	desgl.	24
	20	—		65
	30	—		120
	40	2,3		189
	50	2,0		270
	60	1,8		359
	70	1,8		485

des geringeren Durchmessers am unteren Ende aufweist (vergl. Stern „Das Problem der Pfahlbelastung“ Tafel VI am Schluß u. S. 112 und Handbuch für Eisenbetonbau, III. Band, Grund- und Mauerwerksbau, S. 178 u. 179).

Auch das Verdichtungsgebiet der Pfähle zeigt, wie in den Abb. 17, 23 bis 26, 30 u. 33 und in dem Text hierzu nachgewiesen ist, eine nach oben sich verjüngende Gestalt; dies ist eine Uebereinstimmung mit dem oben gefundenen Satze, sofern die Größe des Verdichtungsgebietes als Maßstab für die Größe der Tragfähigkeit T des Pfahles angesehen werden kann.

In der Tabelle S. 89 u. 90 sind für verschiedene Pfahlformen die zu den Eindringungstiefen $t = 10, 20, 30, 40, 50, 60$ und 70 cm gehörigen ausgemittelten Werte der statischen Widerstände oder Tragfähigkeiten T — der Abb. 45 graphisch entnommen — und aus den Rammregistern die Mittelwerte der Rammarbeiten A und der Tangenten des Winkels α zusammengestellt; wobei unter der Tangente des Winkels α (des Winkels der durch den Nullpunkt gehenden Strahlen der Rammkurve mit der Abszissenachse) der Wert Eindringung zu verstehen ist (Abb. in der Tabelle).
Schlagzahl

Beziehungen zwischen der Tangente des Winkels α und der statischen Tragfähigkeit T .

Aus den Zahlen der Tabelle S. 89 u. 90, Spalte 3 u. 4, ist ersichtlich, daß die Werte von Tangente α aller Pfahlformen mit zunehmender Eindringungstiefe t gradlinig abnehmen, während die dieser Eindringungstiefe t entsprechenden durch Belastungsproben ermittelten Tragfähigkeiten T der Pfahlformen 6 *Aa*, 6,8 *Ba* und 5,8/7,8 *Da* linear zunehmen.

Wir erhalten daraus für die Pfahlformen 6 *Aa* und 6,8 *Ba* folgende Beziehung:

Die Werte von Tangente α bei zwei verschiedenen Pfahlformen verhalten sich annähernd umgekehrt wie ihre Tragfähigkeiten in derselben Rammtiefe oder:

$$\operatorname{tg} \alpha_I : \operatorname{tg} \alpha_{II} = T_{II} : T_I.$$

Dieser Satz gilt für prismatische und zylindrische Pfahlformen von annähernd gleichem Volumen bei derselben Rammtiefe und derselben lebendigen Kraft des Rammbären von einer gewissen Eindringungstiefe T an (hier etwa 40 cm). Siehe Tabelle S. 92.

Lebendige Kraft des Rammbären = Rammbürgewicht mal Fallhöhe.

Zusammenstellung der zur Auswertung dieses Satzes erforderlichen Zahlen.

Pfahlform	Eindringungstiefe t in cm	$\text{tg } \alpha_I$	T_I
6 A α	40	3,2	580
„	50	3,0	630
„	60	2,8	680
„	70	2,6	730

Pfahlform	Eindringungstiefe t in cm	$\text{tg } \alpha_{II}$	T_{II}
6,8 B α	40	2,5	720
„	50	2,3	800
„	60	2,1	880
„	70	2,0	960

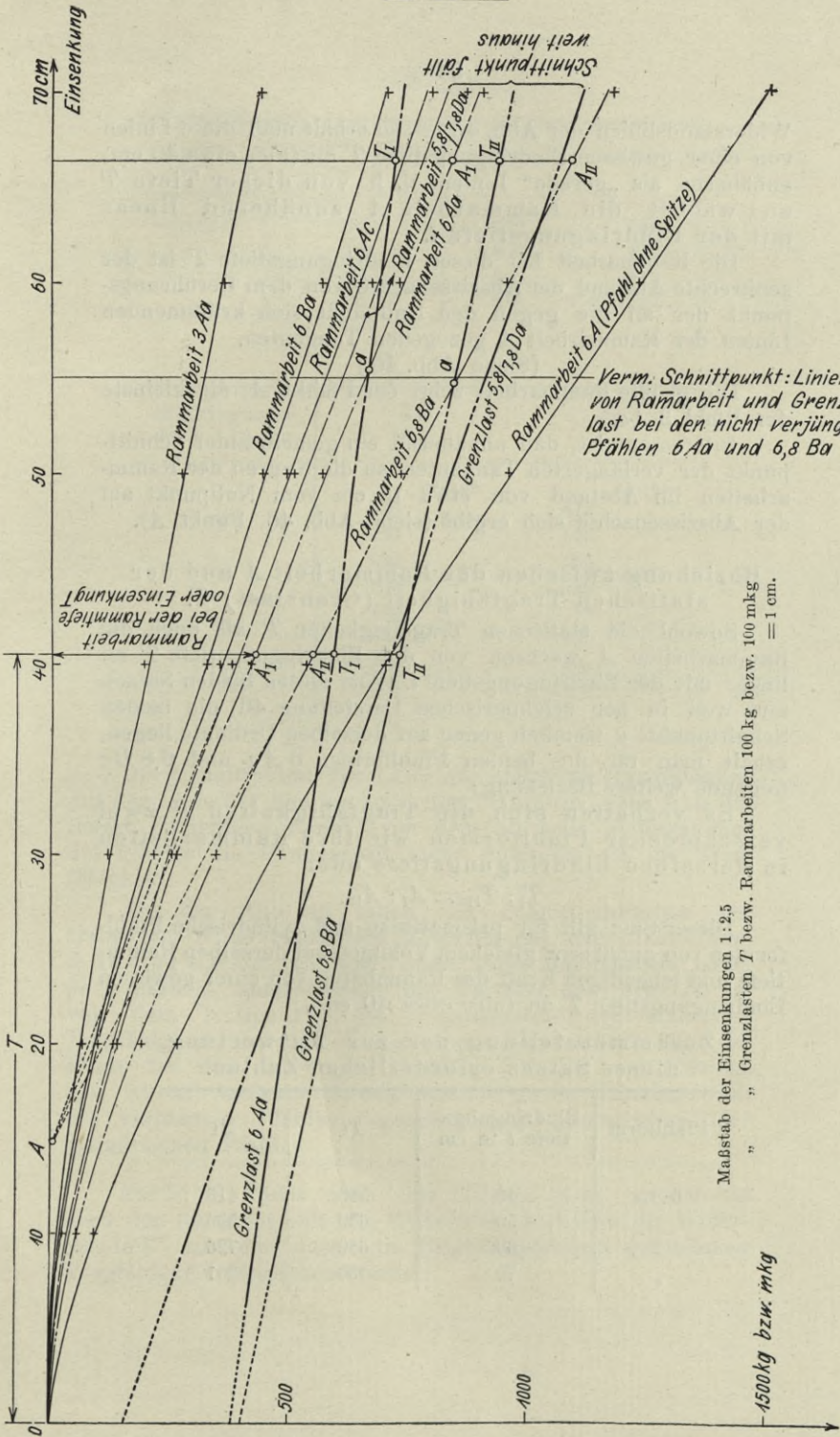
Eindringungstiefe t in cm	$\frac{\text{tg } \alpha_I}{\text{tg } \alpha_{II}}$	$\frac{T_{II}}{T_I}$
	abger.	abger.
40	$\frac{3,2}{2,5} = 1,3$	$\frac{720}{580} = 1,3$
50	$\frac{3,0}{2,3} = 1,3$	$\frac{800}{630} = 1,3$
60	$\frac{2,8}{2,1} = 1,3$	$\frac{880}{680} = 1,3$
70	$\frac{2,6}{2,0} = 1,3$	$\frac{960}{730} = 1,3$

Beziehungen zwischen dem Anwachsen der Rammarbeit A und den Eindringungstiefen t .

In der Tabelle S. 89 u. 90 Spalte 5 sind für verschiedene Pfahlformen die zu den Eindringungstiefen $t = 10, 20, 30, 40, 50, 60$ und 70 cm gehörigen, aus den Rammregistern entnommenen verm. Rammarbeiten A eingetragen.

Trägt man wieder in einem rechtwinkligen Koordinatensystem die den Eindringungstiefen t entsprechenden Rammarbeiten A einer jeden Pfahlform als Ordinaten auf und verbindet die zu jeder Pfahlform gehörigen so gefundenen Punkte durch eine ausgemittelte Linie — analog den statischen

Abb. 46.
Beziehungen zwischen Rammarbeit A und Tragfähigkeit oder Grenzlast T .



Maßstab der Einsenkungen 1:25
 " " Grenzlasten T bzw. Rammarbeiten 100 kg bzw. 100 mkg
 = 1 cm.

Tragfähigkeit T
 oder Grenzlast in kg
 bzw. Rammarbeit in mkg.

Widerstandslinien der Abb. 45 —, so erhält man diese Linien von einer gewissen Eindringungstiefe T an (hier etwa 40 cm) annähernd als „gerade“ Linien, d. h. von dieser Tiefe T an wächst die Rammarbeit A annähernd linear mit der Eindringungstiefe t .

Die Rammarbeit bei dieser Eindringungstiefe T ist der senkrechte Abstand der Abszissenachse von dem Berührungspunkt der an die gegen den Nullpunkt sich krümmenden Linien der Rammarbeit A gezogenen Tangenten.

(Siehe Abb. 46.)

Die größte Rammarbeit zeigt der Pfahl 6 A , die kleinste der Pfahl 3 Aa .

Interessant ist, daß annähernd ein gemeinsamer Schnittpunkt der verlängerten Tangenten an die Kurven der Rammarbeiten im Abstand von etwa 15 cm vom Nullpunkt auf der Abszissenachse sich ergibt (siehe Abb. 46, Punkt A).

Beziehung zwischen der Rammarbeit A und der statischen Tragfähigkeit (Grenzlast) T .

Sowohl die statischen Tragfähigkeiten T als auch die Rammarbeiten A wachsen von der Eindringungstiefe T an linear mit der Eindringungstiefe t . Aus diesen beiden Sätzen und weil in der zeichnerischen Darstellung 46 die beiden Schnittpunkte a ziemlich genau auf derselben Ordinate liegen, erhält man für die beiden Pfahlformen 6 Aa und 6,8 Ba folgende weitere Beziehung:

Es verhalten sich die Tragfähigkeiten T zwei verschiedener Pfahlformen wie ihre Rammarbeiten in derselben Eindringungstiefe oder

$$T_I : T_{II} = A_I : A_{II}.$$

Dieser Satz gilt für prismatische und zylindrische Pfahlformen von annähernd gleichem Volumen bei derselben Rammtiefe und lebendigen Kraft des Rammjärens von einer gewissen Eindringungstiefe T an (hier etwa 40 cm).

Zusammenstellung der zur Auswertung dieses Satzes erforderlichen Zahlen.

Pfahlform	Eindringungstiefe t in cm	T_I	A_I
6 Aa	40	580	413
„	50	630	563
„	60	680	726
„	70	730	901

Pfahlform	Eindringungs- tiefe t in cm	T_{II}	A_{II}
6,8 <i>Ba</i>	40	720	526
„	50	800	729
„	60	880	949
„	70	960	1172

Eindringungs- tiefe t in cm	$\frac{T_I}{T_{II}}$	$\frac{A_I}{A_{II}}$
	abger.	abger.
40	$\frac{580}{720} = 0,8$	$\frac{413}{526} = 0,8$
50	$\frac{630}{800} = 0,8$	$\frac{563}{729} = 0,8$
60	$\frac{680}{880} = 0,8$	$\frac{726}{949} = 0,8$
70	$\frac{730}{960} = 0,8$	$\frac{901}{1172} = 0,8$

Der Schnittpunkt der Linie der statischen Tragfähigkeit mit der Linie der Rammarbeit einer Pfahlform (siehe Abb. 46) liefert denjenigen Punkt, von dem ab beim Tieferrammen des Pfahles die Rammarbeit mehr zunimmt als die Tragfähigkeit.

Auf der Abb. 46 fallen die Schnittpunkte *aa* der statischen Widerstandslinien (Grenzlasten) der Pfahlformen 6 *Aa* und 6,8 *Ba* mit den Linien ihrer Rammarbeit nahezu senkrecht untereinander im Abstand von etwa 55 cm von dem Nullpunkt. Der Schnittpunkt der statischen Tragfähigkeit mit der Linie seiner Rammarbeit fällt dagegen bei dem verjüngten Pfahl 5,8/7,8 *Da* weit hinaus; dies ist ein weiterer Beweis für die große Ueberlegenheit des verjüngten Pfahles gegenüber dem prismatischen oder zylindrischen Pfahl.

Auf S. 96 findet noch eine Tabelle Platz, in der die nach den Rammformeln von Eytelwein und Brix die Widerstände W mit der durch die Belastungsproben gefundenen Tragfähigkeit verglichen werden:

Nr.	Pfahlform	Rammbar- gewicht Q in kg	Pfahl- gewicht q in kg	Fallhöhe h in mm	Ziehen beim letzten Schlag t in mm	Widerstand $W \equiv$ Tragfähigkeit Eytelwein $W = \frac{Q^2 h}{t(Q+q)}$ in kg	Brix $W = \frac{h Q^2 q}{t(Q+q)^2}$ in kg	Durch Be- lastungsproben gefundene Tragfähig- keit T in kg
XXXXVII	6 A a	3,92	3,334	850	1,5	1200	552	767
XXXXVIII	6,8 B a	3,92	3,110	850	1,6	1161	516	1045
XXXXX	5,8/7,8 D a	3,92	2,625	850	1,5	1330	533	1450
XXXXXV	5/7 C a	3,92	3,650	850	1,6	1078	520	1171

Kritik: In der Formel von Eytelwein ist hier das Glied $Q + q$ vernachlässigt, was bei den kleinen Werten zugänglich ist. Sie ist unter der Voraussetzung vollkommener Starrheit der Rammbar- und Pfahlbaustoffe aufgestellt, die verlorene Arbeit infolge bleibender Formänderung des Pfahles ist weggelassen. Da das Rechnungsergebnis mit dem durch die Belastungsproben erzielten in den letzten drei Fällen annähernd übereinstimmt, so liefert die Formel hier ganz brauchbare Ergebnisse; in Wirklichkeit sind natürlich weder Pfahlbaustoffe noch Rammbar völlig unelastisch.

Wie auch in der Praxis bei Anwendung verschiedener Rammformeln verschiedene Werte für den Widerstand $W \equiv$ Tragfähigkeit T sich ergeben, so weichen auch hier die mit der Brixschen Formel berechneten Werte wesentlich ab, da die Formel von Brix diejenige von Eytelwein noch mit dem Ausdruck $\frac{q}{Q+q}$, einem Werte < 1 , multipliziert.

Vergl. „Krapf: Formeln und Versuche über die Tragfähigkeit eingerammter Pfähle“ S. 12.

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA

17452

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

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307043

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316011

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307044

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316012

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307045

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316013

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307046

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000316014

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



III-307042

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300596