

107

Der Betonpfahl „System Mast“.

Ein neues Gründungsverfahren mit
„Betonpfählen in verlorener Form“.

Von

Ingenieur H. Struif,

ständiger Assistent an der Kgl. Techn. Hochschule Berlin.

Mit 16 Textfiguren.



Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1910.



19a



Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300034

Der Betonpfehl „System Mast“.

Ein neues Gründungsverfahren mit
„Betonpfählen in verlorener Form“.

Von

Ingenieur H. Struif,

ständiger Assistent an der Kgl. Techn. Hochschule Berlin.

Mit 16 Textfiguren.



II H
II 531

Berlin.

Verlag von Julius Springer.

1910.



Alle Rechte,
insbesondere das der Übersetzung in fremde Sprachen,
vorbehalten.

**BIBLIOTEKA POLITECHNICZNA
KRAKÓW**

1131124.

Universitäts-Buchdruckerei von Gustav Schade (Otto Francke)
in Berlin und Fürstenwalde (Spree).

Akc. Nr. 1968/49

Inhalt.

	Seite
I. Allgemeine Gesichtspunkte	1
II. Holzpfahl? — Betonpfahl?	3
III. Betonpfahl „System Mast“	4
IV. Herstellung und Tragfähigkeit des Betonpfahles „System Mast“	8
V. Bauausführungen	12
VI. Kostenvergleiche	15
VII. Schlußbetrachtungen	17

I. Allgemeine Gesichtspunkte für die Wahl der Gründungsart.

Die stolze Befriedigung des Hochbaukünstlers, der sein Werk aller Welt vor Augen stellt und sich ein bleibendes Denkmal seines Schaffens setzen kann, bleibt dem Tiefbauingenieur fast stets versagt, da viele seiner Werke dauernd dem Auge und damit der allgemeinen Anerkennung entzogen sind. Wer denkt wohl beim Anblick eines herrlichen Palastes noch daran, welcher Aufwand an geistiger und körperlicher Arbeit notwendig war, um in dem vielleicht grundlosen Boden einen sicheren Fuß für den Aufbau des ganzen Gebäudes zu schaffen? Vielleicht weiß sich der eine oder andere noch dunkel zu erinnern, daß man dort derzeit „sehr tief hinunter“ mußte; aber das ist nichts Besonderes und für die Allgemeinheit auch ziemlich nebensächlich, denn — „man sieht ja nachher doch nichts mehr davon“. —

Die außerordentlich mannigfaltigen, niemals vorauszusehenden Hindernisse, die bei jedem Spatenstich den Ingenieur überraschen, erfordern von ihm stete Schlagfertigkeit gegenüber allen Zufälligkeiten. Diesen wirksam entgegenzutreten zu können, ist es besonders wichtig, daß alle Arbeiten in der Tiefe mit möglichst einfachen und zuverlässigen Hilfsmitteln ausführbar sind. Die moderne Technik will aber nicht nur größere Sicherheit schaffen, sondern vor allem auf dem schnellsten und kürzesten Wege vorwärtsschreiten.

Wie alle Zweige der Bautechnik, so hat auch der Grundbau der neueren Zeit bedeutende Fortschritte in dieser Richtung zu verzeichnen. Wollte man z. B. früher eine Tiefgründung bei nicht erreichbarem Grundwasserspiegel ausführen, so gab es nur die Wahl zwischen Pfeiler-aufbau oder Brunnensenkung. Gestattete dagegen die Höhe des Grundwassers die Anwendung eines Holzpahlrostes, so wählte man fast ausschließlich diese Gründungsart.

Wie nun aus den Überresten der ältesten Pfahlbauten bekannt ist, darf der Holzpahl als unvergänglich angesehen werden, solange seine Lebensbedingung: „alles Holzwerk stets unter Wasser“ erfüllbar bleibt. Leider kann aber in vielen unserer Städte heute diese Rücksichtnahme auf den Einzelnen im größeren Interesse der Ge-

samtheit nicht immer beobachtet werden. Wird z. B. in solcher Stadt eine unterirdische Entwässerungsanlage gebaut, so können die den Untergrund wie ein Adernetz durchziehenden und gewissermaßen als Drainage wirkenden Kanäle ein schnelles Abströmen des Grundwassers durch den aufgelockerten Boden ihrer früheren Baugruben verursachen. Die Folge dieses Vorganges ist dann häufig ein gleichmäßiges Sinken des ganzen Grundwasserspiegels; etwa hiervon betroffene Pfahlroste

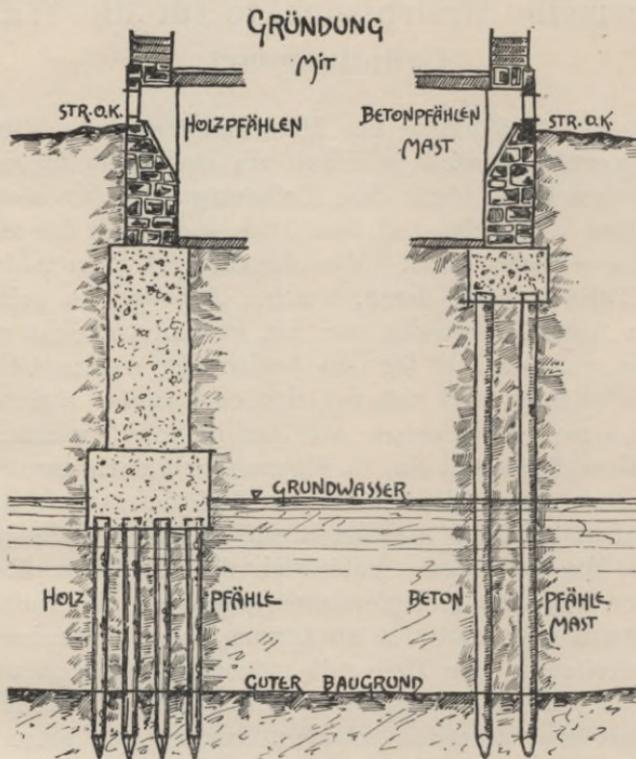


Fig. 1.

werden somit zum Teil vom Wasser freigelegt und durch die bald eintretende Fäulnis zerstört. Neuerdings droht dem Holzpfahl in der Großstadt noch eine weitere Gefahr, nämlich die künstliche Absenkung des Grundwassers hauptsächlich beim Bau der Untergrundbahnen, großer Sammelkanäle sowie umfangreicher Tiefkelleranlagen. Diese häufig mehrere Monate dauernde Freilegung der Holzpfähle vom Wasser kann ebenfalls die schwersten Schädigungen der betreffenden Bauwerke nach sich ziehen.

Kommt nun auch diese Unsicherheit der Holzpfähle infolge der vorerwähnten Möglichkeiten nicht immer in Betracht, so sind der

Anwendung derselben doch noch recht enge Grenzen gezogen. Findet sich nämlich das Grundwasser erst in größerer Tiefe, so verbieten die sehr erheblichen Kosten für Erdarbeiten und Mauermassen die Ausführung des Holzpfahlrostes von vornherein.

II. Holzpfahl? — Betonpfahl?

Der als Baumaterial für Gründungsarbeiten im allgemeinen äußerst wertvolle Holzpfahl rechtfertigt den Wunsch, ihn von seiner Achillesferse — der Abhängigkeit vom Wasser — frei zu sehen. Bis jetzt gelang es noch nicht, einen durchaus sicheren Schutz gegen das Verfaulen des Holzwerkes über Wasser zu finden. So bleibt denn kein anderer Ausweg als der, für den Holzpfahl einen völlig gleichwertigen Ersatz zu suchen, der alle Vorzüge des ersteren in sich vereint, dagegen unabhängig vom Wasserstand ist. Hier liegt es nun recht nahe, den Blick auf das Baumaterial unserer Zeit, den Beton, zu lenken. In der Tat ist auch schon eine Reihe recht beachtenswerter Versuche unternommen, den Holzpfahl durch einen geeigneten Betonpfahl zu ersetzen. Die ersten Anfänge zeigen sich in einfachster Form. Ein Holzpfahl z. B. wird in den Boden getrieben, wieder herausgezogen und die so entstandene Öffnung mit Beton ausgefüllt. Hierbei muß natürlich die Güte des Betonpfahles durch die herabfallenden und mit eingestampften Bodenteile in bedenklichster Weise gefährdet werden. In Erkenntnis dieses Übelstandes ging man bald dazu über, den Betonpfahl nicht mehr im Boden direkt, sondern auf dem Werkplatz in besonderer Holzschalung herzustellen. Die so erhaltenen Betonpfähle können dann frühestens nach vierwöchentlicher Erhärtungszeit an die Verwendungsstelle überführt und eingerammt werden. Der Transport dieser bis 5000 kg schweren Pfähle ist aber nur unter Zuhilfenahme besonderer Krananlagen möglich, das Einrammen selbst erfordert außerordentlich schwere Ramm-Gerüste und-Bären, oft sogar noch die Einspülung mittels Druckwasser. Die Umständlichkeit dieser Ausführung ermöglicht eine rationelle Anwendung allenfalls bei größten Bauwerken. Für Einzelausführungen und kleinere Objekte, z. B. für Wohnhäuser, kann sie wegen der unverhältnismäßig hohen Kosten überhaupt nicht in Betracht kommen.

Es bleibt also nur die Rückkehr zum ersten Prinzip, nämlich: „Herstellung des Pfahles am Ort der Verwendung“ übrig. Die endgültige Lösung dieser Frage ist nur durch Erfüllung der Hauptbedingung zu erwarten: Wie kann mit einfachsten Mitteln eine unbedingt zuverlässige Pfahlform im Erdboden hergestellt werden? Der Grundgedanke des gemauerten Senkbrunnens ist nahelegend. Ingenieur Strauß verwendet ihn bei seinem Pfahlsystem:

„Mantelrohre entsprechenden Durchmessers werden durch Ausbohren mittels Ventilbohrers brunnenartig abgesenkt und nach Erreichung des guten Baugrundes mit Beton angefüllt, gleichzeitig aber das Mantelrohr zur Weiterverwendung wieder emporgezogen.“ — Ein derartig hergestellter Betonpfähler kann zweifellos als solcher wirken, die Arbeitsleistung eines gerammten Pfahles aber wird ihm nicht zugemutet werden können, da ihm ja das Hauptmerkmal: „Verdichten des Baugrundes durch Rammen und hierdurch zum größten Teil bedingte Tragfähigkeit“ fehlt. — Einen Schritt vorwärts bedeutet das Pfahlbauverfahren „Simplex“. Hier treibt man durch kräftige Rammschläge ein mit besonderer Spitze versehenes, starkes eisernes Vortreibrohr bis in den guten Baugrund, dann wird, genau wie bei Strauß, auch dieses Rohr unter gleichzeitiger Ausfüllung mit Beton wieder emporgezogen, wobei sich die sogenannte Alligatorspitze öffnet und den Beton nach unten in das Erdreich einfallen läßt.

Bei beiden Systemen ist die Hauptgefahr darin zu erblicken, daß beim Hochziehen des Vortreibrohres Beton und Baugrund aufgelockert werden, und der seitlich in die noch weichen Betonmassen eindringende Erdboden Einschnürungen des Pfahlquerschnittes verursacht. Die Möglichkeit, den Pfahl an beliebiger Stelle auf die Güte seiner Herstellung zu untersuchen, ist — abgesehen von gänzlichem Aufgraben — nicht gegeben. Ferner kann auch das den frischen Beton durchspülende Grundwasser in seiner oft bedenklichen schwefel- und kohlensäurehaltigen Zusammensetzung von schädlichstem Einfluß auf den abbindenden Zement werden.

Bezüglich der Ausführung muß das Straußverfahren als weniger schwierig bezeichnet werden, wohingegen beim Simplexpfahl außerordentlich schwere und umfangreiche Rammvorrichtungen zum Eintreiben und Emporziehen der starken Vortreibrohre notwendig sind. Eine Gegenüberstellung dieser Ausführungsweisen mit dem Holzpfahl läßt erkennen, daß dieselben wegen der ihnen anhaftenden Mängel den gesuchten Ersatz noch nicht darstellen können.

III. Betonpfahl „System Mast“.

Ausgehend von dem Wunsche, die größtmögliche Annäherung an das klar gekennzeichnete Vorbild, den Holzpfahl, unter Vermeidung aller der vorerwähnten Nachteile zu erreichen, ist vor allem der Frage nach einer einwandfreien Pfahlform näher zu treten. Soll weder eine Auflockerung des Baugrundes noch eine Gefährdung des Pfahlbetons beim Abbinden eintreten können, so darf unter der Voraussetzung, daß der Pfahl am Orte seiner Verwendung hergestellt wird, keinesfalls die einmal eingeführte Pfahlform nachträglich wieder entfernt

werden. Somit kann also nur ein „Verfahren mit verlorener Form“ in Betracht kommen. Ein solcherweise gewonnener Pfahl muß dann tatsächlich alle Vorzüge des Holzpfahles unter Vermeidung seiner Mängel in sich vereinen, also: Leichtigkeit der Ausführung, Verdichten des Baugrundes ohne nachherige Auflockerung, Sicherheit in der Beurteilung aller Querschnitte, vor allem aber die Unabhängigkeit vom Wasserstand.

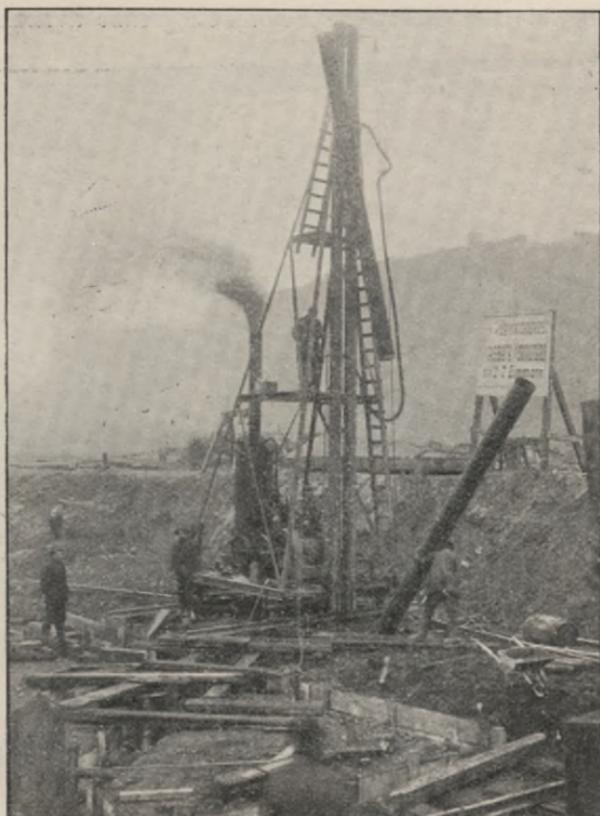


Fig. 2.
 Einrammen der Pfahlform „System Mast“.

Bei dem „Pfahlsystem Mast“ kommen nun als Vortreibrohre äußerst dünnwandige Blechhülsen zur Verwendung. Im Gegensatz zu anderen Systemen werden diese als Pfahlform dienenden Blechrohre nach dem Einrammen nicht wieder aus dem Boden entfernt, sondern in demselben mit Beton vollgestampft. Die Schwierigkeit der praktischen Ausführung liegt einzig in der Art, die Pfahlform in den Boden einzuführen. Wollte man in der üblichen Weise den

Rammschlag auf den oberen Rand des Vortreibrohres wirken lassen, so würde eine ganz bedeutende Blechstärke gegen das Zerschlagen und Einknicken notwendig werden. Gelingt es aber, den Rammschlag unmittelbar an seine Wirkungsstelle, die Pfahlspitze, zu leiten, so wird damit die Blechform in den Boden gezogen, nicht hineingedrückt! — Ein derartiger Arbeitsvorgang gestattet, das Material der Form — hier Schmiedeeisen — wegen der nur als Zugspannung auftretenden Beanspruchung bis zur äußersten Festigkeitsgrenze auszunutzen. Es



Fig. 3.

Rohrspitze der Pfahlform „System Mast“.

wird somit der Kostenaufwand für das „verlorene“ Material der Form auf das geringste Maß beschränkt.

In der Hauptsache handelt es sich also darum, den wichtigsten Teil der ganzen Konstruktion: „die Pfahlspitze“ in geeigneter Weise auszubilden und vor allem gegen ein Abreißen oder Abdrängen von der Blechform unbedingt zu sichern. Dem Verfasser dieser Zeilen gelang es, unter Berücksichtigung der hier in Erwägung kommenden Gesichtspunkte, eine derartige, allen Anforderungen entsprechende Spitze herzustellen. Die „Beton- und Tiefbaugesellschaft Mast“ zu Berlin übernahm es, durch eingehende Versuche die praktische Verwendbarkeit dieser Pfahlspitze festzustellen und nach Erzielung vollster Erfolge das ganze Verfahren weiter auszubauen.

Bezüglich der Herstellung einer solchen Pfahlspitze muß als erste Bedingung gelten, daß Rohrform und Spitze ein innig verbundenes

Ganzes bilden. Das aber kann in vollkommenster Weise nur erreicht werden, wenn beide Teile aus einem Stück bestehen, also die Pfahlspitze direkt aus dem unteren Teil der Rohrform hergestellt wird.

Die Pfahlspitze.

Aus der untersten, ca. 2—4 m hohen Blechtafel einer Rohrform werden, wie aus nebenstehender Abwicklung dieser Fläche ersichtlich ist, besondere Ein- und Ausschnitte vorgenommen. Hierdurch ergeben sich vier den Wandungen der späteren Spitze entsprechende Lappen 1—4. Diese werden so zusammengebogen, daß die Enden I—IV sich vierfach überdecken, und eine stumpf begrenzte, etwa 50 cm lange hohle Blechspitze entsteht. In diese wird zur Aufnahme der Rammschläge ein genau passender, den Hohlraum ausfüllender Holzklötz eingesetzt und mit Asphaltkitt vergossen. Die eigentliche Ramm-

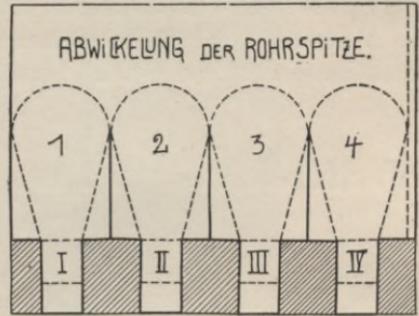
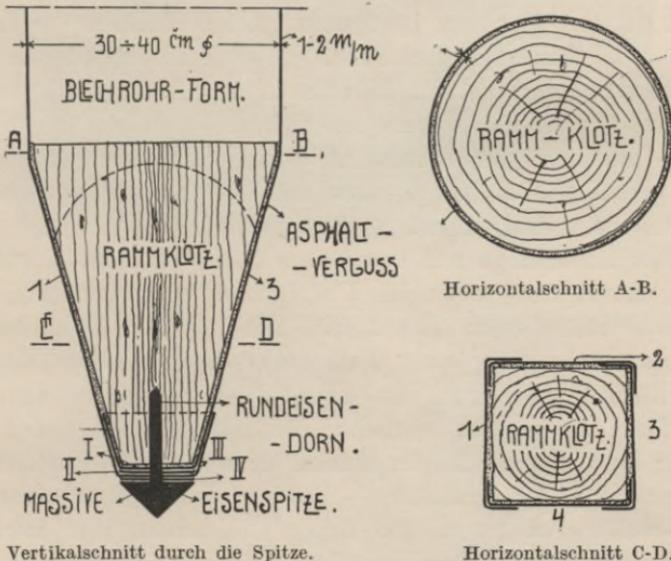


Fig. 4.

Abwicklung der Rohrspitze.

spitze bildet eine massive, pyramidenförmige Eisenspitze, welche mittels eines Rundeisendornes die vier Blechrohrlappen I—IV bolzenartig durchdringt und fest in den Holzklötz eingetrieben ist.



Vertikalschnitt durch die Spitze.

Horizontalschnitt C-D.

Fig. 5.

Die fertige Pfahlspitze.

Eine Zerstörung der Blechspitze durch Öffnen und Herausschlagen des Holzkernes wird verhindert durch die vier aufeinanderliegenden Lappenden I—IV, die durch den Rammschlag von oben und den Erdwiderstand von unten fest aufeinander gepreßt werden und so einem Ausweichen der Blechwände wirksam entgegenarbeiten. Unterstützt wird dieser Widerstand noch durch die Bolzenwirkung des Rundeisendornes.

Eine Anordnung dieser Art läßt die Möglichkeit einer Trennung der Spitze von der Rohrform kaum befürchten. Tatsächlich haben die Versuche und späteren Ausführungen die Richtigkeit des Konstruktionsgedankens durch dauernd gleichbleibende Erfolge bestätigt.

IV. Herstellung und Tragfähigkeit des Betonpfahles „System Mast“.

Die gewöhnlich autogen geschweißte 1—1½ mm starke, zylindrische oder konische Blechröhre von ca. 30 cm Durchmesser wird am unteren Ende mit der vorbeschriebenen Spitze versehen, unter eine Ramme gebracht und eine genau passende Rammjungfer hineingelassen, die den oberen Blechrand um etwa 1 m Höhe überragt. Die auf die Jungfer wirkenden Rammschläge werden unmittelbar in die Pfahlspitze übergeleitet und somit die Form in den Boden nachgezogen.

Sobald die erforderliche Rammtiefe erreicht ist, muß die Jungfer herausgenommen werden, worauf die Form schichtenweise mit Beton gefüllt und dieser mit einem besonders geformten Stampfer fest eingestampft wird. Sind für den Pfahl später Biegungsspannungen zu erwarten, so werden vor dem Einbringen des Betons entsprechende Rundeiseneinlagen in die Form gestellt und einbetoniert. Während des ganzen Arbeitsvorganges kann man sich durch den Augenschein fortlaufend die Gewißheit verschaffen, daß die richtige Lage der Eisen an jeder Stelle eingehalten ist.

Auch der neuerdings mit besonderer Aufmerksamkeit verfolgten schädlichen Einwirkung etwa im Untergrund vorhandener „Moor-säure“ wird bei diesem Betonpfahl mit größter Sicherheit entgegengetreten. Um für jeden Fall die entsprechenden Maßregeln treffen zu können, muß zunächst durch Bodenuntersuchungen festgestellt werden, ob in dem fraglichen Moorboden „Schwefeleisen“ nachweisbar ist. Durch die Oxydation desselben bei Luftzutritt — also schwankendem Grundwasser — entsteht bekanntlich Eisensulfat und freie Schwefelsäure, die unter Umständen mit etwa vorhandenen Karbonaten noch weitere Verbindungen unter Freigabe von Kohlensäure eingehen kann. Das Grundwasser nimmt beim

Zusammentreffen mit beiden Säurearten diese leicht auf und verursacht in solcher Zusammensetzung die mehrfach beobachteten Zerstörungserscheinungen der betroffenen Betonteile.

Als ganz besonders wichtig muß vor allem der Abschluß des frisch eingebrachten Pfahlbetons von derartigem säurehaltigen Grundwasser bezeichnet werden.

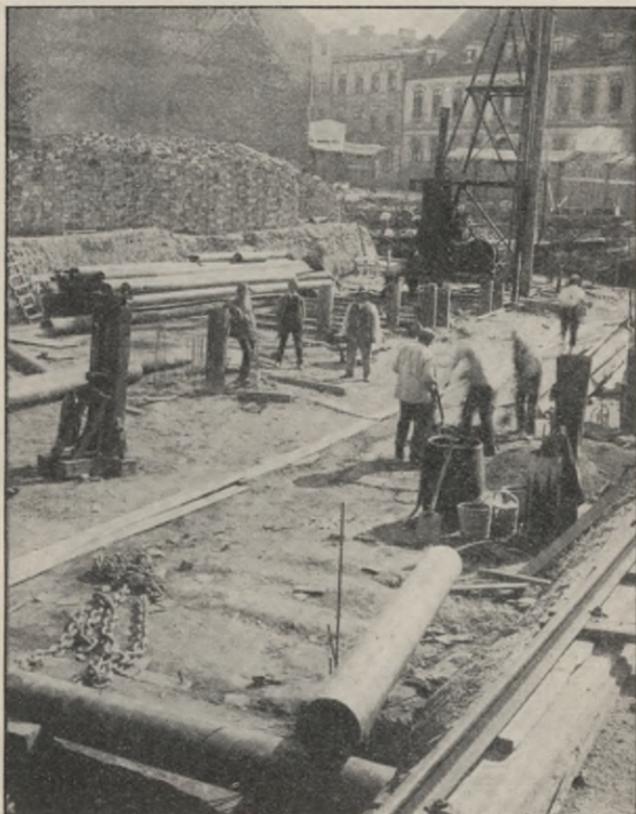


Fig. 6.

Herstellung der Betonpfähle „System Mast“ auf der Baustelle.

Dem später erhärteten Beton gewährt der Eisenmantel als solcher bis zum gänzlichen Abrosten wiederum den nächsten Schutz. Ist später einmal die Eisenform verrostet, so tritt auch dann noch keine Gefährdung des Pfahles ein, da in allen Fällen, in denen Moorsäure zu erwarten ist, die Pfahlform vor dem Betonieren innen nach besonderem Verfahren mit einem säurefesten Anstrich versehen und hierauf mit Asphaltpappe ausgekleidet wird, so daß damit ein weitgehender Schutz gegen alle Möglichkeiten vorgesehen ist.

Tragfähigkeit.

Zur Feststellung der Tragfähigkeit der Pfähle „System Mast“ ließ das Königliche Polizeipräsidium-Berlin vor allgemeiner Zulassung dieses Systems besondere Versuche und Belastungsproben vornehmen. Diese fanden Herbst 1909 im Beisein des Königlichen Materialprüfungsamtes zu Berlin auf dem Gelände der Siemens-Schuckert-Werke am Nonnendamm statt. Die Beschaffenheit des Untergrundes an der

Versuchsstelle, sowie Art und Lage des Probepfahles gehen aus der nebenstehenden Skizze (Fig. 7) hervor. Das Grundwasser fand sich etwa 1,50 m unter Terrain. Der Rohrdurchmesser betrug 30 cm im Lichten, die Blechstärke der Rohrhülse 1—1½ mm. Der Pfahl wurde mit einem Bär von 1000 kg Gewicht bei ca. 1,00—1,50 m Hubhöhe eingerammt. Nach Herausziehen der Pfahljungfer wurde festgestellt, daß das Rohrrinnere völlig wasserfrei war, so daß im Trockenen betoniert werden konnte. Der Beton war im Verhältnis 1 Zement zu 4 Kies gemischt. Die Belastungsprobe fand vier Wochen nach Anfertigung des Betonpfahles statt.

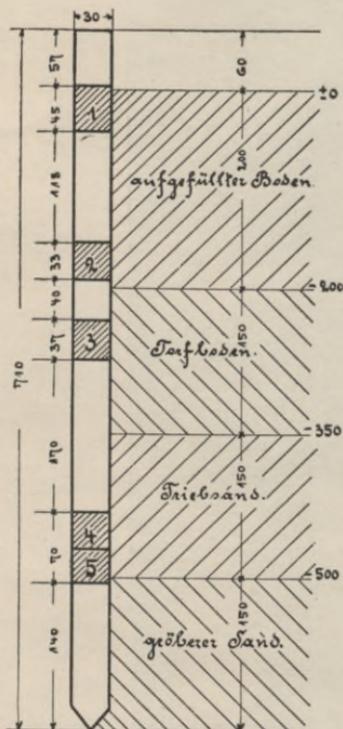


Fig. 7.

Der Belastungs-Versuch.

Kurz vor Beginn der Belastungsprobe wurde der Pfahl bis etwa 70 cm unter Terrain freigelegt. Den bei der Herstellung eben abgerichteten Pfahlkopf versah man mit einer dünnen Sandschicht und legte hierauf eine 2 cm starke Eisenplatte. Sodann konnte der über dem Pfahlkopf aufgebaute Belastungsstuhl gesenkt und aufgesetzt werden, worauf mit der Belastung durch Bleibarren begonnen wurde. Nachdem der Pfahl eine Last von 50 t ohne erhebliche Einsenkungen ausgehalten hatte, wurde der Versuch abgebrochen. Der Pfahl stand dann mehrere Wochen unter dieser Höchstlast, ohne die geringste Zerstörungserscheinung zu zeigen. Nach Verlauf weiterer vier Wochen fand eine Besichtigung des aus dem Boden gezogenen Probepfahles statt. Die Eisenhülle war der ganzen Länge nach aufgeschnitten und

der obere Teil zurückgebogen. Der Betonkörper bildete in seiner ganzen Länge eine einheitliche zusammenhängende Masse. Die Pfahlhülle war bis auf den Teil, der im Torfboden gesteckt hatte, sowie das Stück oberhalb des Terrains völlig frei von Rost. Nach Losbinden des Pfahl-

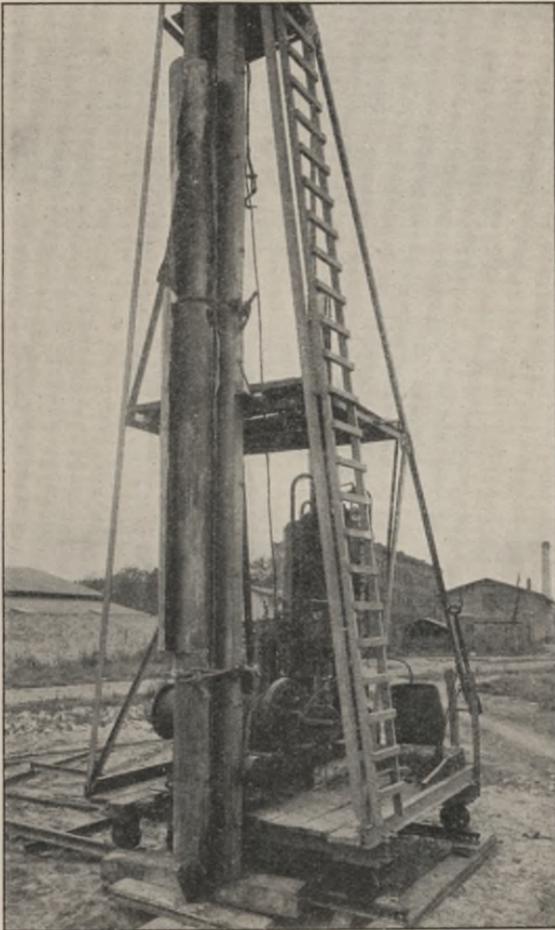


Fig. 8.

Aus dem Boden gezogener Betonpfahl-Mast mit nachträglich aufgeschnittener Pfahlhülle

körpers vom Rammgerüst wurde derselbe umgestürzt und in mehrere Stücke zerschlagen. Bruch, Gefüge und Farbe der frischen Trennflächen des Betons waren an allen Stellen des Pfahlkörpers gleich.

Druckversuche.

Die in der Baugrundskizze Fig. 7 mit 1—5 bezeichneten Stücke des Pfahles wurden im Königlichen Materialprüfungsamt zu Probekörpern hergerichtet und 66 Tage nach Herstellung des Pfahlbetons der Druckprobe unterzogen. Hierbei ergab sich eine mittlere Druckfestigkeit des Betons von 181 kg/qcm.

V. Bau-Ausführungen.

Gelegentlich der Fundierung eines Wohn- und Geschäftshauses am Hansa-Ufer zu Berlin ließ das Königliche Polizeipräsidium-Berlin zur nochmaligen einwandfreien Prüfung des Pfahlsystems an zwei willkürlich herausgegriffenen Pfählen der Vorderfront eine Belastungsprobe vornehmen. — Auch diese Untersuchung fand unter Aufsicht des Königlichen Materialprüfungsamtes und des Königlichen Polizeipräsidiiums im Dezember 1909 statt. Der Baugrund an der Versuchsstelle bestand etwa 1,50 m aus Bauschutt, dann folgten 0,70 m Moor und hierunter ca. 2,30 m weicher Ton. In einer durchschnittlichen Tiefe von 4,40 m fand sich scharfer Sand. Das Grundwasser wurde in einer Tiefe von 3—4 m unter Terrain angetroffen. Über die Herstellung der untersuchten Pfähle liegen nachstehende Rammergebnisse vor:

P f a h l I		P f a h l II		Bemerkungen
Anzahl der Schläge	Eindringung cm	Anzahl der Schläge	Eindringung cm	
50	206	50	215	Bärgewicht = 1000 kg
50	98	50	80	
50	57	50	32	
50	34	50	25	
50	21	50	23	
50	19	50	19	Hubhöhe = 100 cm
		50	14	

Der Beton der Pfähle war aus 1 Teil Zement und 4 Teilen Kies hergestellt. Die Pfähle hatten eine Länge von 6 m und waren etwa 2 m in den mittelscharfen Sand eingerammt.

Versuchs-Ausführung.

Die Lage der beiden untersuchten Pfähle ist in der am Schluß beigefügten Abbildung des Grundrisses zu erkennen. Die Durchführung der Belastungsprobe erforderte mit Rücksicht auf die erheblichen Lasten, welche zur Verfügung gestellt werden mußten, besondere

Maßregeln. Als Belastungsmaterial war der zur späteren Ausführung der Betonbanketts bestimmte Kies gewählt. Derselbe konnte nach Beendigung des Versuches sofort auf die Mischbühnen ausgeschüttet werden, so daß also die Durchführung der Belastung verhältnismäßig

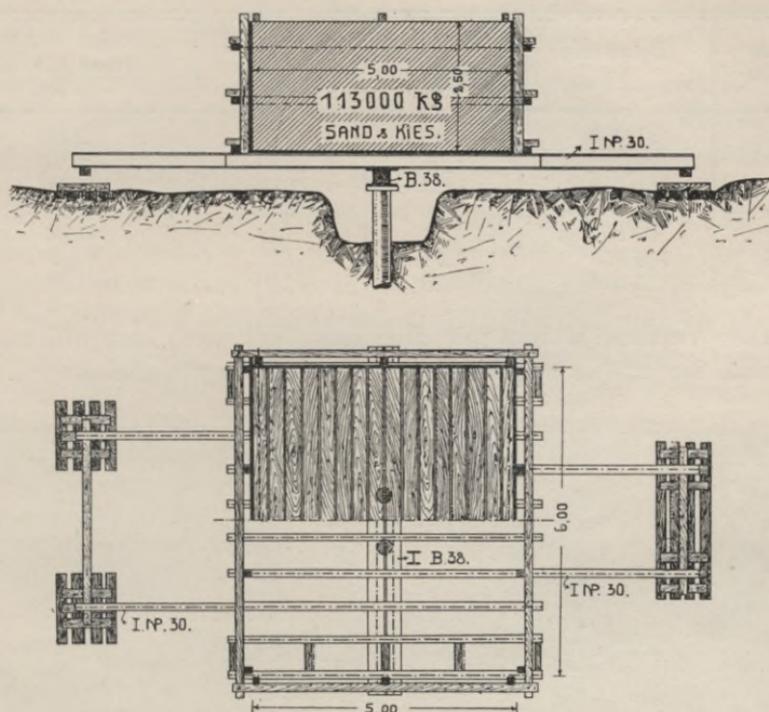


Fig. 9.

Belastungsstuhl.

wenig Kosten verursachte. Die beiden zur Untersuchung bestimmten Pfähle standen etwa 1 m frei über dem Erdboden. Die Blechformen reichten bis ca. 10 cm unter die eben abgeglichenen Pfahlköpfe, damit nur diese durch die Lasten beansprucht werden konnten. Wie auch bei dem früheren Versuch wurde auf die Pfahlköpfe zunächst eine dünne Schicht feinen Sandes ausgebreitet und hierauf zwei ca. 2 cm starke Eisenplatten als Lager für den Laststuhl verlegt. Dieser bestand aus einem Holzkasten von $6,0 \times 5,0 \times 2,5$ m Größe. Den Unterbau bildeten zwei Differdinger-Profile, darüber war eine Lage gewöhnlicher T-Träger angeordnet. Ausleger nach beiden Seiten sollten ein Kippen um die Verbindungsachse der Pfähle verhindern. Die gesamte Konstruktion stand auf vier Winden etwa 20 cm oberhalb der Pfahlköpfe. Bei Beginn des Versuches wurde der Kasten herabgelassen und mit

dem Einschütten des Belastungsmaterials begonnen. Die Einsenkung der Pfähle konnte mittels zweier Fernrohre an Maßstäben, die an den Pfahlköpfen befestigt waren, genau beobachtet werden.

Ergebnisse des Versuchs.

Last-Stufe	Belastung kg	Senkung in Zentimetern		Mittlere Senkung eines Pfahles cm
		Pfahl I	Pfahl II	
0	11 000	0,00	0,00	0,00
1	23 750	0,04	0,04	0,04
2	36 500	0,11	0,08	0,10
3	62 000	0,30	0,30	0,30
4	87 500	0,80	1,25	1,01
5	100 250	1,01	1,73	1,37
6	113 000	1,32	2,31	1,82

Der Versuch wurde mit Rücksicht auf den Lastaufbau abgebrochen, die Pfähle zeigten keinerlei Zerstörungserscheinungen. Die

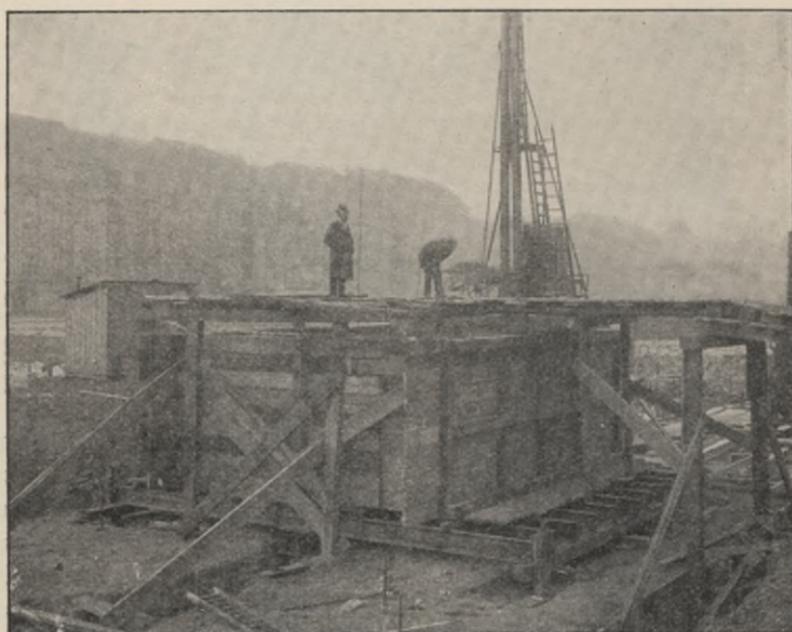


Fig. 10.

Belastung zweier Betonpfähle „System Mast“ mit 113000 kg.

so erhaltenen Resultate, welche in klarster Weise wieder die Zuverlässigkeit und Zweckmäßigkeit des Mastpfahles einwandfrei nachgewiesen hatten, waren maßgebend für das Endurteil des Königlichen

Polizeipräsidiums zu Berlin. Diese Behörde erließ durch besondere Genehmigung den Bescheid, daß unter gleichen Voraussetzungen wie bei den Versuchen für einen Betonpfahl von 30—32 cm Durchmesser eine Belastung von 35 t zuzulassen sei.

VI. Kosten-Vergleich.

Der Schwerpunkt jeder Pfahlfrage ist, abgesehen von der konstruktiven Durchführung, naturgemäß in der Grundbedingung zu suchen: Ermöglichen die entstehenden Kosten die wirtschaftliche Ausführung und besonders die Ausnutzung des Systemes?

Auf der beistehenden Tafel zeigen — in der Sprache des Ingenieurs — eine Anzahl Kurven die annähernden Einheitskosten der heute gebräuchlichen, hauptsächlich in Betracht kommenden Fundierungsarten bei verschiedenen Tiefen des tragfähigen Baugrundes und des Grundwasserspiegels. Aus dieser Zusammenstellung ist ersichtlich, daß etwa bis zu 2 m Tiefe des Baugrundes unter der Kellersohle bei mäßigem Grundwasserandrang die direkte Gründung auf voll durchlaufenden Bankettmauern den geringsten Kostenaufwand bedingt.

Liegt der Grundwasserspiegel hoch, etwa 50 cm unter Kellersohle, so erscheint der Holzpfahl rücksichtlich der Baukosten allein zur Verwendung geeignet. Dieser äußerst günstige Fall liegt aber selten vor, sehr viel häufiger sind dagegen Wasserstände von 1—2 m und mehr unter Kellersohle zu berücksichtigen. Dann aber zeigt sich in klarer Weise, daß bei zunehmenden Tiefen der Betonpfahl sogar den Holzpfahl verdrängen kann. Es würde z. B. bei 7,50 m Tiefe des Baugrundes und 3 m Grundwasserstand unter Kellersohle die Ausführung mit Betonpfählen billiger wie diejenige mit Holzpfählen werden, wobei nicht zu vergessen ist, daß selbst bei Kostengleichheit beider der Betonpfahl wegen unbedingter Sicherheit und kürzerer Ausführungsfrist stets einen durch den Holzpfahl niemals einzuholenden Vorsprung besitzt.

Die bisher angestellten Vergleiche setzen für den Betonpfahl nur die ungünstigsten Möglichkeiten voraus, so daß nunmehr auch die Verhältnisse betrachtet werden sollen, welche seine Verwendung direkt fordern. Sobald nämlich das Grundwasser gar nicht oder erst in größerer Tiefe erreichbar und starken Schwankungen in seiner Höhenlage unterworfen ist, scheidet der Holzpfahl vom Wettbewerb überhaupt gänzlich aus. Es bleibt nur noch die Verwendung fertiger Eisenbetonpfähle oder aber die Ausführung der älteren Fundierungsarten, wie Pfeiler-aufbau, Senkkasten und Senkbrunnen übrig. Ein Blick auf den Kostenverlauf dieser Arbeitsweisen genügt, die Entscheidung treffen zu können, welche Art der Gründung hier nur in Betracht kommen kann.

Es braucht kaum noch erwähnt zu werden, daß innerhalb derselben Zeit, die allein schon zur Herstellung der für die Fundierung eines Bauwerkes erforderlichen Eisenbetonpfähle auf dem Werkplatz notwendig wäre, dasselbe Bauwerk bei Verwendung von Betonpfählen „Mast“ fertig fundiert sein wird, während bei der Ausführung von Senkkasten oder Brunnen etwa ein Drittel der ganzen Arbeit in der gleichen Zeit vollendet sein könnte.

VII. Schlußbetrachtungen.

Den Ausgangspunkt dieser Arbeit bildet die Frage: Wie kann für den Holzpfahl ein völlig gleichwertiger, vom Grundwasser durchaus unabhängiger Ersatz geschaffen werden? Die Antwort hierauf wird unter Zusammenfassung aller hier schon berührten Punkte eine Gegenüberstellung des Werdeganges der beiden verglichenen Pfahlsysteme am klarsten geben können:

Holzpfahl:	Betonpfahl:
I. Arbeitsbeginn:	
Sofort.	Sofort.
II. Vorbereitung auf der Baustelle:	
Entrinden und Richten, Anspitzen, Anbringen von Kopfring und Schlagplatte.	Pfahlform, maschinell hergestellt, wird zum Einrammen fertig geliefert.
III. Transport zur Ramme:	
Pfähle besonders größerer Länge durch Hebezeug oder größere Arbeiteranzahl zu bewegen.	Pfahlform durch einen, höchstens zwei Mann zur Ramme getragen und aufgestellt.
IV. Rammvorgang:	
Direktes Rammen bis zum Terrain oder Wasser. Wenn Pfahllänge nicht genau vorher bestimmt, wird Baugrund nicht erreicht, oder es tritt Materialverschwendung ein, da die überschüssige Pfahllänge abzuschneiden ist.	Rammen mit Jungfer bis Bankettsohle. Pfahlform jederzeit nach Bedarf durch Aufsetzenden zu verlängern oder zu verkürzen; damit genaues Anpassen an jede Gründungstiefe.
V. Kontrollmöglichkeit:	
Abgesehen von Aufgrabung unter Wasserhaltung, keine.	Pfahlform nach Aufziehen der Jungfer durch Augenschein zu prüfen, ob völlig unbeschädigt.
VI. Bankett-Herstellung:	
Aushub und Verbau der Baugrube bis 50 cm unter Wasser. Beseitigung und Fernhalten desselben während des Abschneidens und Verschnürens der Pfahlköpfe. Betonieren über und unter Grundwasser bis Tiefen von 2—3 m.	Erdaushub ca. 60—80 cm vor dem Rammen. Betonieren der Pfähle und des 60—80 cm hohen Banketts ohne Behinderung durch Wasserandrang.
VII. Ausführungszeit:	
a) Hochliegendes Grundwasser:	
110 Tage.	100 Tage.
b) Tiefliegendes Grundwasser:	
166 Tage.	100 Tage.
Struif, Betonpfahl.	2

Holzpfahl:	Betonpfahl:
VIII. Tragfähigkeit und Sicherheitsgrad:	
Maximallast: 25 t bei 28 cm Durchmesser.	Maximallast: 35 t bei 30 cm Durchmesser.
Sicherheit: für Güte der Pfahlquerschnitte in der Tiefe nicht vorhanden.	Sicherheit: Beurteilung jedes Pfahlquerschnittes möglich.
Bei wechselndem Wasserstand durchaus unzuverlässig.	Unabhängig gegen Grundwasserschwankungen.
IX. Kosten:	
a) Hochliegendes Grundwasser:	
100 M.	170 M.
b) Tief liegendes Grundwasser:	
100 M.	50 M.

Es muß auf Grund vorstehender Erörterungen nunmehr jeder objektiven Prüfung die Entscheidung überlassen bleiben, ob durch das hier besprochene Pfahlsystem in seiner Anordnung und Durchbildung die zu Beginn dieser Zeilen gestellte Aufgabe ihre Lösung



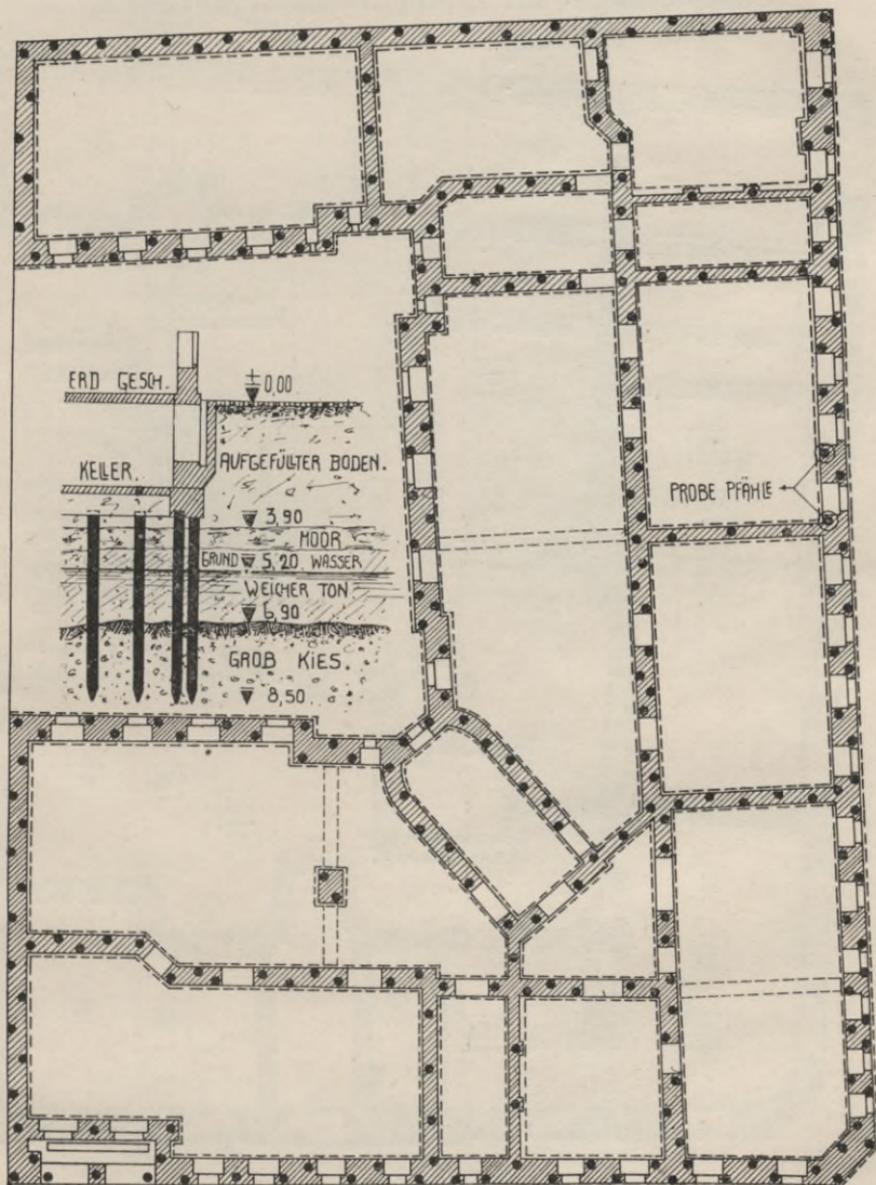
Fig. 12.

Transport der 10 m langen Mast-Pfähle zur Ramme.

gefunden hat. Jedenfalls darf das sich schon jetzt — kurz nach Einführung des Verfahrens — allgemein zeigende Interesse und Vertrauen der maßgebenden Fachkreise sicherlich als untrügliches Zeichen dafür gedeutet werden, daß dieser Betonpfahl einem wirklichen Bedürfnis der täglichen Praxis entspricht, und seine Verbreitung in weitesten Kreisen als gesichert betrachtet werden darf.

Wohn- und Geschäftshaus
 Berlin, Hansa-Ufer, Ecke Straße Nr. 33.

Fundiert auf 250 Stück 5—6 m langen Betonpfählen „System Mast“
 durch die Beton- und Tiefbau-Gesellschaft Mast-Berlin.



Straße Nr. 33.

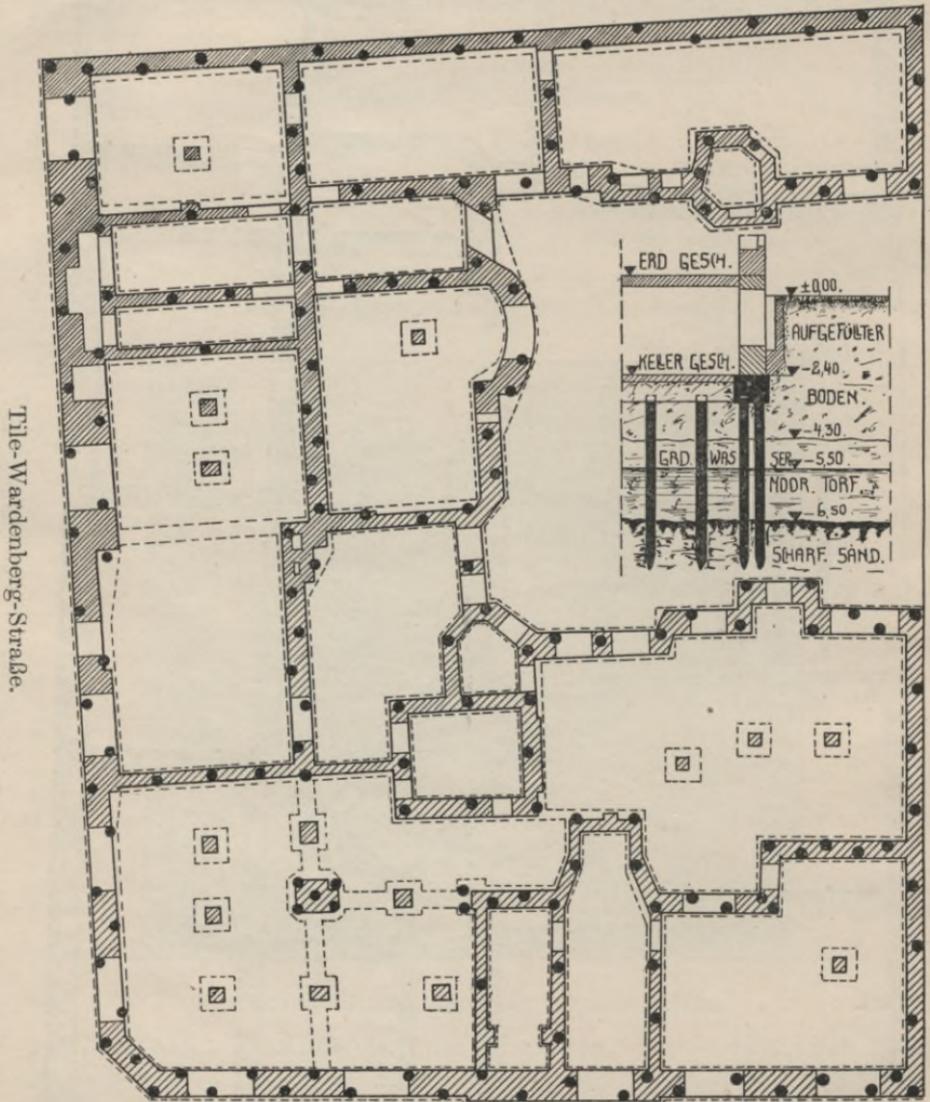
Hansa-Ufer.

Fig. 13.

Wohn- und Geschäftshaus

Berlin, Hansa-Ufer, Ecke Tile-Wardenberg-Straße.

Fundiert auf 184 Stück 5—6 m langen Betonpfählen „System Mast“ durch die Beton- und Tiefbau-Gesellschaft Mast-Berlin.



Hansa-Ufer.

Fig. 14.

Lokomotiv-Drehscheibe in Harburg bei Hamburg.
 Fundiert auf 11 Stück ca. 10 m langen Betonpfählen „System Mast“
 durch Ing. O. Wodke-Hamburg.

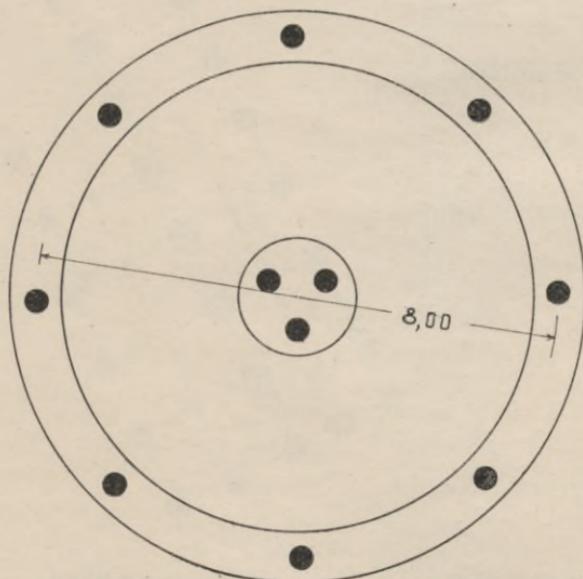
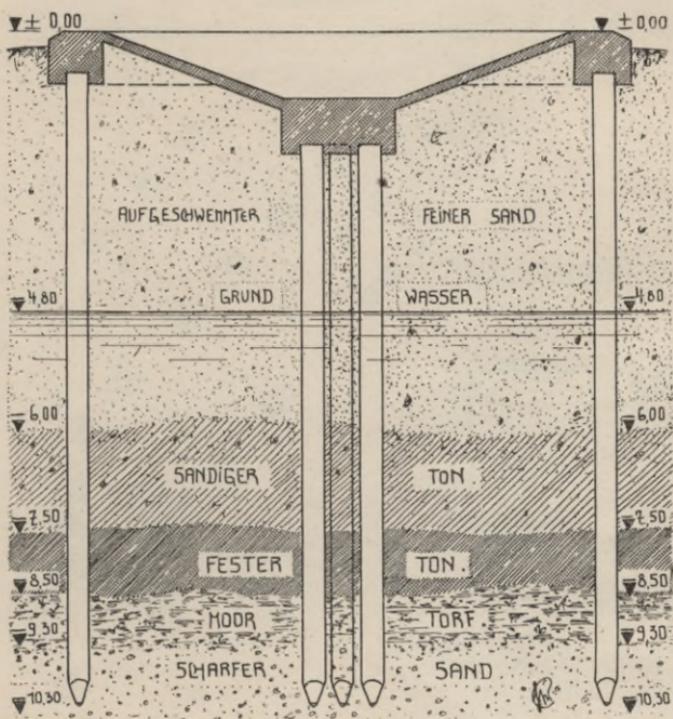


Fig. 15

Fabrik-Neubau

Frankfurt a. O., Berliner Straße.

Fundiert auf 220 Stück 10—12 m langen armierten Betonpfählen
„System Mast“

durch A. Keppich, Eisenbeton, Charlottenburg.

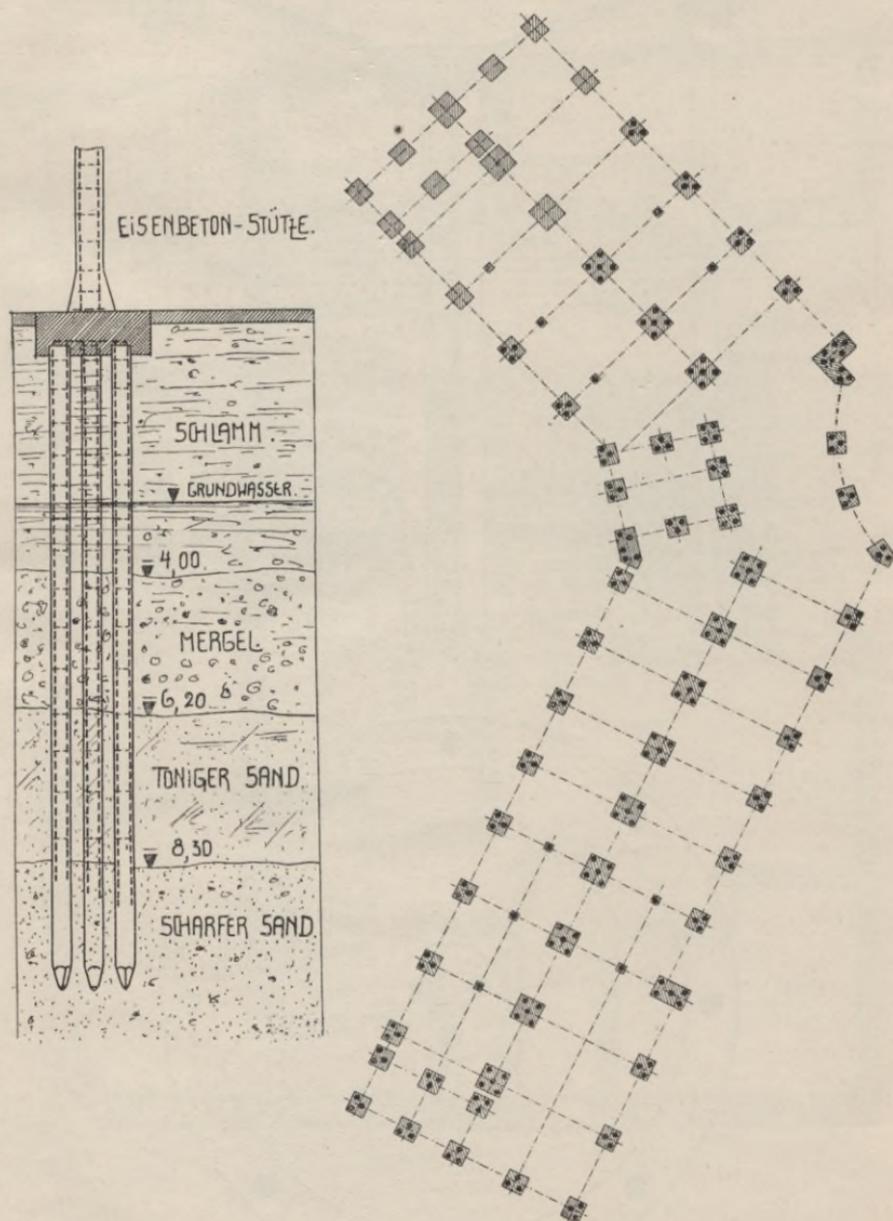


Fig. 16.

S. 67

173 2

WYDZIAŁY POLITECHNICZNE KRAKÓW

BIBLIOTEKA GŁÓWNA



L. inw.

31124

Kdn., Czapskich 4 — 678. 1. XII. 52. 10.000

Biblioteka Politechniki Krakowskiej



100000300034