

DIE BAUTECHNIK

12. Jahrgang

BERLIN, 2. Februar 1934

Heft 5

Die Schmutzwasser-Kanalisation des Fischereihafens in Wesermünde-Geestemünde.

Alle Rechte vorbehalten.

Von Regierungsbaurat Dettmers in Harburg-Wilhelmsburg.

In den Jahren 1920 bis 1926 ist der Fischereihafen in Wesermünde-Geestemünde eingeschleust und erweitert worden. Im Zusammenhang mit diesen Arbeiten wurde eine Schmutzwasser-Kanalisation erbaut. Das Besondere dieser Anlage ist:

1. Umbau einer alten Anlage des Mischsystems zum Trennsystem,
2. Kanalisation eines dicht besiedelten Industriegeländes mit außerordentlich vielen, vielseitigen und angreifenden Schmutzstoffen,
3. Bau eines Dükers aus Tonrohren und
4. Überwindung besonderer Gründungsschwierigkeiten beim Dükerbau.

Diese verschiedenen Besonderheiten der Anlage dürften von allgemeinem Interesse sein und eine nachträgliche Veröffentlichung erwünscht erscheinen lassen.

I. Rohrleitungsnetz.

1. Kanalisationssystem.

Bis zum Zeitpunkte der Einschleusung und Erweiterung des Fischereihafens wurden die auf dem Hafengelände anfallenden Regen- und Schmutzwassermengen im Mischsystem in den Hafen abgelassen und durch den Ebbe- und Flutwechsel und die Strömung der Weser in unschädlicher Weise fortgetragen. Nach Wegfall der Spülwirkung von Ebbe und Flut infolge

der Einschleusung war die Einleitung des Schmutzwassers (Fischabwässer und sonstige Brauchwässer) in den Hafen nicht mehr statthaft. Es mußte daher statt bisher in den Hafen nunmehr in die Weser geleitet werden.

Nach Ausbau des Fischereihafens nehmen die zwischen dem alten Hafen und der Weser liegenden langgestreckten neuen Hafenbecken (Abb. 1) bei dem größten Teile des Einzugsgebietes die Möglichkeit, das anfallende Schmutzwasser unmittelbar der freien Weser zuzuführen. Es mußte daher ein Düker in die Entwässerungsanlage eingeschaltet werden, der das Abwasser unter dem Verbindungskanal zwischen dem alten und neuen Hafen hindurch einem in die Weser mündenden Endsiel zuführt.

Da der Wasserstand des eingeschleusten Hafens tiefer liegt als der Wasserstand der Weser bei hohen Tiden, mußte dem Endsiel ein Pumpwerk nebegeschaltet werden.

Die anfallenden unverschmutzten Regenmengen sind 20 bis 30 mal größer als die Brauchwassermengen. Die Anordnung von Notauslässen war nicht möglich, weil sie nach den örtlichen Verhältnissen in den Hafen hätten münden müssen, weil aber andererseits die Zuführung des verdünnten Schmutzwassers in den eingeschleusten Hafen wegen der Gefahr der Verschmutzung nicht zulässig ist. Bei Beibehaltung des bisherigen Mischwassersystems würden die Leitungsquerschnitte und ebenfalls der erforderliche Dükerquerschnitt sehr groß geworden sein. Die großen Wassermengen hätten weiter eine große Pumpleistung zu ihrer Hebung und somit große Stromkosten bedingt. Die Anlage- und die Betriebskosten würden daher beim Mischsystem erheblich größer geworden sein als beim Trennsystem. Die Kosten für die Unterhaltung und Wartung würden bei beiden Systemen etwa die gleichen gewesen sein. Die Vorzüge der Trennkanalisation überragten daher für den vorliegenden Fall, und sie wurde deshalb für die Ausführung gewählt. Dabei ist das vorhandene Kanalnetz des alten Fischereihafens mit seinen zahlreichen Ausmündungen in den Hafen bestehen geblieben. Es dient in Zukunft nur der Abführung der Regenwässer.

2. Wassermengen.

Über die abzuführenden Schmutzwassermengen sind eingehende, sorgfältige Ermittlungen angestellt worden. Für die Ostseite des alten Fischereihafens betrug die größte Stundenabflußmenge am Tage im Mittel 0,37 sl/ha und für die Westseite im Mittel 0,62 sl/ha. Mit Rücksicht auf die zunehmende Bebauungsdichte oder eine etwaige Umstellung der Betriebe und den damit steigenden Wasserverbrauch, sowie unter Beachtung geringer Regenwassermengen, deren Zuführung in das Brauchwassernetz infolge besonderer örtlicher Umstände wirtschaftlicher ist, als die in das Regenwassernetz, ist die Abflußziffer für das ganze Industriegebiet des Fischereihafens mit 1,5 sl/ha angesetzt.

Besondere Sorgfalt erforderte die Bestimmung der Abflußmengen aus den Versteigerungshallen, den Packhallen, von den Bahnanlagen usw. Zur Reinigung der Versteigerungshallen, die vor den Packhallen am Hafenbecken liegen, werden täglich große Spülwassermengen verbraucht, die zum Teil aus der Wasserleitung und zum Teil aus dem Hafen entnommen werden. Soweit sie auf den durch die Hallen führenden Fahrdämmen entstehen, werden sie ebenso wie die Niederschlagmengen der offenen Straßen auch in Zukunft dem offenen

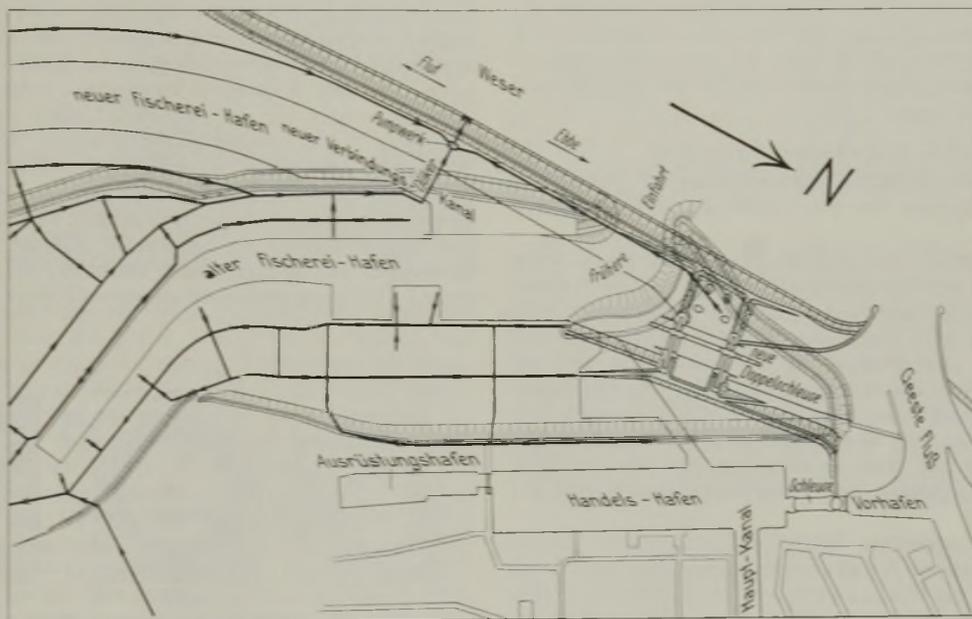


Abb. 1. Lageplan.

Hafen zugeführt. Dagegen erschien es bedenklich, die aus den eigentlichen Versteigerungsräumen kommenden Abwässer dem geschlossenen Hafen zuzuführen, da sie stark mit faulnisfähigen, von der Reinigung der Fischkisten herrührenden Stoffen verunreinigt sind.

In den Packhallen vollzieht sich der Arbeitsbetrieb innerhalb 5 bis 6 Tagesstunden. In dieser Zeit fließen die Spülwässer ab, die den größten Verbrauch ausmachen. Sie sind zu 2,7 sl/ha ermittelt. Mit Rücksicht auf den zunehmenden Wasserverbrauch und die Vergrößerung der Betriebe nach Umbau des Hafens ist die abzuführende Wassermenge auf 5,0 sl/ha erhöht worden. Dieselbe Zahl ist bei einigen anderen Betrieben zugrunde gelegt.

In die Brauchwasserleitung mit aufgenommen wurden die Regenwässer von tiefliegenden Teilen des Bahngeländes und vom tiefliegenden städtischen Siedlungsgelände (Deichhammwiesen). Da wegen der tiefen Lage dieser Ländereien das Regenwasser andernfalls durch besondere Pumpwerke und Rohrleitungen hätte beseitigt werden müssen, war die Aufnahme in die Brauchwasserleitung die billigste Lösung.

Insgesamt wurden demnach folgende Wassermengen für die Schmutzwasserleitung zugrunde gelegt:

	ha	l/sek
Stadtgebiet mit Deichhammwiesen	215,49	367,77
Werft Seebeck	10,0	15,0
Bahnhof Geestemünde-West	2,50	3,75
Bahneinschnitt	5,21	50,16
Industriegebiet am Fischereihafen	102,37	174,38
Bahnhof Geestemünde-Fischereihafen	9,72	20,16
zus.	345,29	631,22.

3. Lage der Ausmündung und des Dükers.

Bestimmend für die Anordnung der Sammelgebiete und für die Linienführung der Kanäle waren hauptsächlich die Lage der Ausmündung der Kanalisation und die Lage des Dükers.

Das Fischereihafengelände liegt im Vergleich zu der als Vorfluter dienenden Weser verhältnismäßig niedrig. Es stand daher nur wenig Gefälle für die Kanalleitungen zur Verfügung. Damit die Rohrstränge keine zu tiefe Lage und kein zu geringes Gefälle erhielten, mußten die Abwässer auf möglichst kurzem Wege der Weser zugeleitet werden. Zu diesem Zwecke mußte die Ausmündungsstelle möglichst nahe an den Schwerpunkt des Entwässerungsgebietes herangerückt werden. Dieser Anforderung entspricht die aus Abb. 1 ersichtliche Lage der Ausmündung.

Für die Lage des Dükers waren folgende Gesichtspunkte maßgebend:

1. möglichst günstige Lage zum Entwässerungsgebiet,
2. möglichst kurze und gerade Linienführung des Dükers,
3. gute Untergrundverhältnisse an der Baustelle,
4. günstige Möglichkeit der Bauausführung,
5. senkrechter Schnitt seiner Achse mit den Uferbefestigungen.

Diesen Forderungen wird die gewählte Anordnung unter dem engpaßartigen Verbindungskanal zwischen altem und neuem Hafen am besten gerecht. Dieser ist nur 60 m breit. In dieser Breite wird er auf eine längere Reihe von Jahren ausreichen. Für später ist seine Verbreiterung auf 100 m vorgesehen. Der Düker läßt sich dann ohne weiteres nach rückwärts verlängern.

Bei der Bauplanung war davon auszugehen, daß die Kanalisation im Augenblick, wo der Hafen geschlossen wurde, in Betrieb treten mußte. Der Düker mußte aus diesem Grunde möglichst frühzeitig, und zwar vor Herstellung des Verbindungskanals fertig sein. Die Dükerbaustelle befand sich daher im Tidebereich. Die gewählte Lage hat den Vorteil, daß das Baugelände fast in ganzer Ausdehnung hochwasserfrei war, so daß kostspielige Dämme vermieden wurden.

4. Anordnung des Entwässerungsnetzes.

Entsprechend der Lage der Kanalisationsausmündung und des Dükers ist das ganze Entwässerungsgebiet des Fischereihafens in drei Sammelbezirke eingeteilt.

Der östliche Bezirk umfaßt das Industriegelände zwischen altem Fischereihafen, Handelshafen und Landesschutzdeich; das mittlere Sammelgebiet liegt zwischen altem Fischereihafen und neuem Verbindungskanal; der westliche Sammelbezirk wird durch den Verbindungskanal und den Weserdeich begrenzt. Die Linienführung des Hauptsammlers und der Zubringerleitungen ist aus Abb. 1 ersichtlich. Auf der kurzen Endstrecke zwischen Düker und Kanalisationsausmündung ist das Pumpwerk eingeschaltet. In diesem werden die Abwassermengen bei hohem Außenwasserstande durch Pumpen mit einer Druckleitung und bei niedrigem Außenwasserstande unter Umgehung der Pumpen im freien Gefälle der Weser zugeführt.

Die Anfangsstrecken der einzelnen Rohrleitungen haben 1 : 150 bis 1 : 650 Gefälle bei einer kleinsten Abflußgeschwindigkeit des Sielwassers von 0,33 m/sek. Das Gefälle des Hauptsammlers wechselt zwischen 1 : 1430 und 1 : 2080 bei einer größten Abflußgeschwindigkeit des Sielwassers von 0,91 m/sek.

Im Betriebe der alten Mischwasseranlage hatte sich ergeben, daß die Offenhaltung der Rohre Schwierigkeiten bereitete. Bis zum Jahre 1919 wurden sie durch Spülung aus dem städtischen Wasserleitungsnetz gereinigt. Mit Rücksicht auf die ständig wachsende Belastung der Rohrleitungen genügte diese Reinigungsart aber auf die Dauer nicht. Die Rohre verstopften sich schließlich, und es wurden häufige kostspielige und verkehrshinderliche Aufgrabungen nötig. Daher wurde im Jahre 1919 zur Reinigung mit Bürstengerät übergegangen. Dabei wurde festgestellt, daß ein großer Teil der Rohrleitungen bis zum halben Querschnitt mit abgelagerten Sinkstoffen, wie Sand, Fischgräten- und schuppen, Miesmuscheln, ja sogar mit erstarrtem Teer und Drahtstiften (Kistennägeln aus den Fischräuchereien) angefüllt war.

Unter mühevoller Arbeit und durch Verwendung von Kanalscheren und -ketten und unter Einbau weiterer Einsteigschächte gelang es, sämtliche Tonrohrleitungen zu reinigen. Dagegen mußten einige kürzere Strecken aus gußeisernen Rohren (z. B. unter Eisenbahngleisen) gegen Tonrohre ausgewechselt werden, weil sie nicht offen gehalten werden konnten und Rohrverstopfungen eintraten. Unter dem Einfluß des Rostens der Rohre hatten die Sinkstoffe sich derartig fest abgelagert und verhärtet, daß sie nur mittels einer Brechstange losgebrochen werden konnten.

Da es bei den alten Rohrleitungen besonders die kleinen Querschnitte der Zubringer waren, die leicht verstopften, erhielten die neuen Kanäle nicht unter 25 cm Lichtweite. Außerdem sind die Anfangschächte zu Spülschächten ausgebaut, so daß eine kräftige Spülwirkung erzielt werden kann (s. w. u. unter 15 b). Durch diese Maßnahmen ist die Gewähr gegeben, daß alle Kanäle bei dem angegebenen Gefälle noch gut rein gehalten werden können.

Die Tiefenlage der Kanäle ist so bemessen, daß die Scheiteldeckung an den Anfangspunkten = 1,50 m ist. Nur einzelne weit entlegene haben eine geringere Scheiteldeckung von 1,10 bis 1,30 m. Sie ist aber immerhin noch genügend stark, da die Frostgrenze unter Pflasteroberkante rd. 1 m beträgt (größte Frosttiefe am 10. Februar 1917 nach 25-tägiger Frostzeit

mit im Mittel -9°C war im freien Gelände mit leichter Schneedecke bis zu 75 cm, in gepflasterten Straßen 97 cm unter Oberkante Pflaster) und da an diesen Stellen noch keine bzw. wenig Bebauung ist. Sollte späterhin bei der Bebauung die Entwässerung tiefliegender Keller erforderlich werden, so muß die Straßenhöhe entsprechend geändert oder das Abwasser aus den Kellern künstlich gehoben werden. Das letztere Hilfsmittel ist bei der inzwischen erbauten Pack- und Versteigerungshalle X ausgeführt worden. In den Schwerpunkten der Fischindustrie liegen die Kanalisationsleitungen durchweg so tief, daß die Entwässerung selbst tiefer Keller gewährleistet ist.

Die Querschnitte und Gefälle der Kanäle sind nach Feststellung der von ihnen abzuführenden Abwassermengen mit Hilfe der Brixschen Rohrberechnungstabelle auf dem Rechenschieber für Fluß- und Kanalbau bestimmt. Die Berechnung ist so durchgeführt, daß die abzuleitenden größten Abflußmengen die betreffenden Leitungen nicht bis zur vollen Höhe füllen, sondern je nach Größe der Rohre noch 5 bis 20 cm Luftraum über dem Wasserspiegel verbleibt.

5. Bauliche Ausbildung

a) der Kanäle. Bei dem abzuführenden Schmutzwasser handelt es sich um chemisch stark wirksame Fischabwässer und Salzlauge. Auch das Grundwasser ist stark säurehaltig. Betonrohre mußten daher trotz ihrer Billigkeit als für den vorliegenden Fall ungeeignet ausscheiden. Auch Gußeisenrohre sind nicht wieder verwendet worden, einmal deswegen, weil sie, wie bereits ausgeführt, die Verstopfung durch Sinkstoffe begünstigen, zum andern deswegen, weil sie von dem säurehaltigen Abwasser und den Sinkstoffen angegriffen werden. Die ausgebauten alten Gußrohre waren an den Innenwandungen, soweit diese durch die abgelagerten Stoffe bedeckt gewesen waren, derartig weich, daß sich das Eisen etwa 2 bis 3 mm tief wie Blei mit dem Messer schneiden ließ. Es sind daher durchweg glasierte Steinzeugrohre mit kreisrundem Querschnitt verwendet worden. Neben ihrer großen Widerstandsfähigkeit gegen Säure und Laugen besitzen sie den Vorteil, daß sie wegen ihrer glatten Innenwandungen das Wasser besser abführen, ein Umstand, der hier wegen des zur Verfügung stehenden geringen Gefälles besonders ins Gewicht fiel.

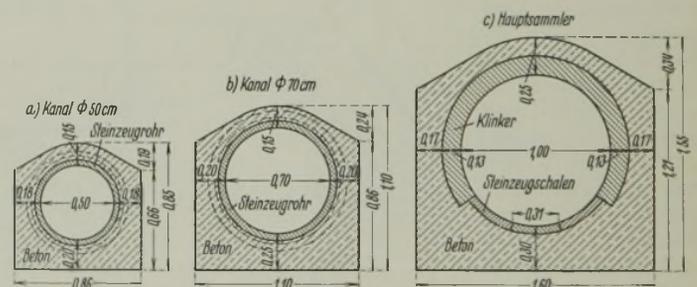


Abb. 2. Ummantelte Rohrquerschnitte.

Es sind Steinzeugrohre von 25 bis 70 cm Durchm. verlegt worden. Die größeren Rohre von 50 cm und mehr Durchmesser haben zur Verstärkung gegen Außendruck eine Umhüllung aus fettem Beton erhalten (Abb. 2). Die Verwendung fertiger Rohre auch bei den größeren Querschnitten erleichterte und beschleunigte die Bauausführung, namentlich wo Grundwasserandrang und ungünstiger Baugrund vorhanden waren.

Der Hauptsammler ist kreisrund und wurde an Ort und Stelle hergestellt (Abb. 2c). Er hat 1 m Durchm. und besteht aus Beton. Zum Schutze gegen die Angriffe des Abwassers ist er in seinem unteren Teil mit glasierten Steinzeug-Sohlschalen, im oberen mit Oldenburger (Bockhorner) Klinkern verblendet. Die an sich erwünschte Verwendung von Steinzeugrohren mußte mit Rücksicht auf die Mehrkosten und auf die langen Lieferfristen für solche ungewöhnlich großen Abmessungen ausscheiden.

b) der Schächte. An allen Punkten, an denen die Kanalstränge ihre Richtung ändern, sind Einsteigschächte angeordnet. Die Strecke zwischen je zwei Schächten ist geradlinig und um so kürzer, je kleiner der Querschnitt der betreffenden Leitung ist. Bei kleinen, nicht schlupfbaren Kanälen beträgt der Schachtabstand 50 m, bei den größeren, kriechbaren Kanälen 80 bis 100 m.

Die gemauerten Einsteigschächte haben eine Lichtweite von 1 m. Der Kopf des Schachtes verjüngt sich nach oben, so daß die Einsteigöffnung einen lichten Durchmesser von 0,60 m besitzt. Schlammfänge sind in den Schächten nicht vorhanden, die Sohlen der Leitungen gehen vielmehr glatt durch die Schächte hindurch.

Den Spülschächten an den Anfangspunkten der Zubringer wird das Spülwasser aus dem Trinkwasserversorgungsnetz des Fischereihafengebietes zugeführt.

An geeigneten Stellen haben die Einsteigschächte Spülklappen erhalten. Sie dienen dazu, die von oben kommende Spülwelle wieder zu sammeln, um die tiefer liegende Kanalstrecke mit demselben Spülwasser reinigen zu können. An einigen geeigneten Stellen, wo die Kanäle

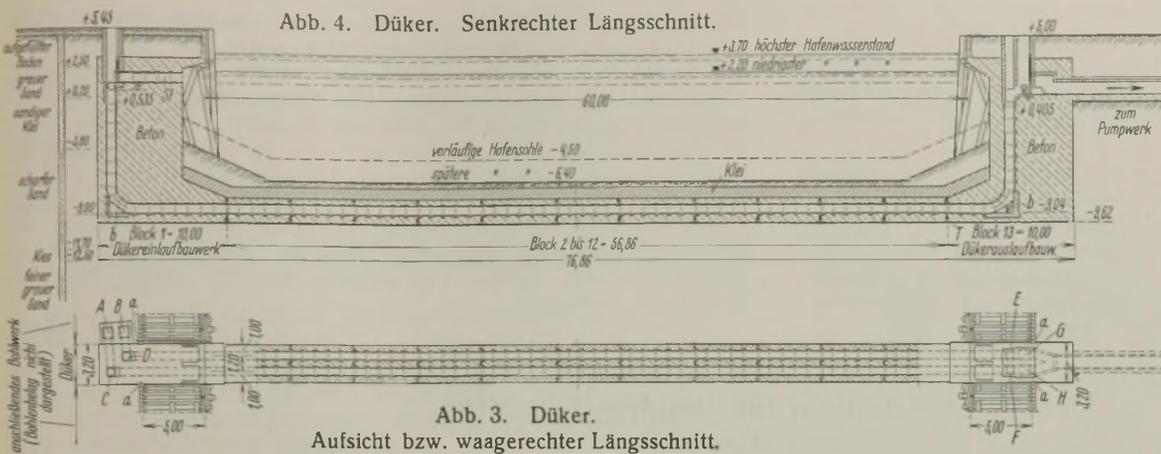


Abb. 3. Düker.
Aufsicht bzw. waagerechter Längsschnitt.

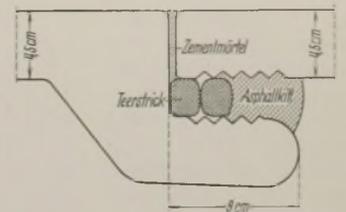


Abb. 7.
Muffendichtung des Dükers.

eine hinreichende Tiefenlage erreicht haben, sind ferner Spülschächte eingeschaltet, die zur Kostenersparnis mittels kurzer Stichleitungen vom Hafen aus mit Hafenwasser gespeist werden.

Die Lüftung der Kanäle wird durch die Grundstückanschlüsse ausreichend gesichert dadurch, daß ihre Fallrohre ohne Zwischenschaltung von Wasserverschlüssen bis übers Dach geführt und etwaige außerhalb der Gebäude belegene Schächte keinen Geruchverschluß erhalten haben.

II. Düker.

1. Bauliche Anordnung.

Der Düker besteht aus zwei glasierten Steinzeugröhren mit Eisenbetonummantelung (Abb. 3 u. 4). Wegen Platzmangels und Kostenersparnis sind der absteigende und der aufsteigende Ast beide senkrecht angeordnet. Die rd. 77 m lange Strecke unter der Sohle des Verbindungskanals ist waagrecht. Dem Düker unmittelbar vorgelagert ist ein Sandfang als besonderes Bauwerk.

Während der Hauptsammler aus nur einem Kreisrohr von 1 m Durchm. besteht, ist der Düker in zwei Kreisrohre von je 0,70 m Durchm. aufgelöst. Beide zusammen haben dieselbe Leistungsfähigkeit wie der Hauptsammler. Diese Auflösung in zwei Rohrstränge bietet erhebliche Vorteile. Für gewöhnlich ist nur einer der beiden Stränge in Betrieb (s. w. u.). Dadurch wird erreicht, daß die Wassergeschwindigkeit größer ist und die Schmutzablagerung im Düker, wie sie besonders infolge der senkrechten Anordnung des Steigerohrs sonst zu befürchten war, hintangehalten wird. Außerdem können infolge der Unterteilung bei Bedarf in dem jeweils trockenen Rohre Unterhaltungsarbeiten ausgeführt werden, ohne daß der Düker außer Betrieb genommen zu werden braucht. Darüber hinaus erleichterte und beschleunigte die Unterteilung in 70er Rohre die Bauausführung durch die Möglichkeit, fertige Steinzeugrohre zu verwenden, während bei 1 m Durchm. Steinzeugrohre mit Rücksicht auf die Mehrkosten und vor allem die langen Lieferfristen für solche ungewöhnlich großen Abmessungen hätten ausscheiden müssen.

Die senkrechte Anordnung der Schenkel und die Unterteilung des Dükers in zwei Rohrstränge hat sich bei der Bauausführung und auch im Betriebe bewährt.

Das Einlauf- und das Auslaufbauwerk stellen 15 m hohe schlanke Betonblöcke dar. Sie liegen im Zuge der Bohlwerke, von denen der Verbindungskanal auf beiden Ufern eingefäßt ist, und ersetzen je ein entsprechendes Stück Bohlwerk. Um einen reibungslosen Anschluß der später zu erbauenden Bohlwerke an den Düker sicherzustellen, wurde bei der Herstellung der Dükerhäupter an jeder Anschlußstelle eine Anschlußspundbohle für die Bohlwerke mit einbetoniert (s. a in Abb. 3).

Im Innern der Dükerhäupter sind außer den senkrechten Fallrohren der obere und untere Übergangskrümmen zur Senkrechten untergebracht.

Bei den auf verhältnismäßig kleiner Grundfläche stehenden hohen Ein- und Auslaufbauwerken mußte mit Setzungen gegenüber der waagerechten Dükerstrecke gerechnet werden. Sie sind daher durch je eine Fuge (s. T in Abb. 4) getrennt.

Die unteren Krümmen sind schachtartig als Pumpensümpfe erweitert. Durch diese Erweiterung wird ermöglicht, daß beim Bekriechen des Dükers der hineinsteigende Mann um die Ecke kommt. Die zweckmäßigste Form der Erweiterung ist anhand von Modellversuchen in natürlicher Größe festgelegt worden. Um trotz der Erweiterungen einen glatten Wasserabfluß zu erreichen und um fäulnisfähige Schlammansammlungen zu vermeiden, sind sie während des normalen Betriebes mit schräggestellten abnehmbaren Eisendeckeln versehen (s. b in Abb. 4).

Das Einlaufbauwerk besitzt vier Schächte A bis D (Abb. 3 u. 26b). Die Schächte A und B sind zwischen dem Sandfang und dem eigentlichen Einlaufbauwerk eingeschaltet und können an der dem Sandfang zugewandten Seite durch je ein zweiteiliges Holzschütz geschlossen werden (s. Abb. 10a u. b). Die gegenüberliegenden Schachtwand nehmen sie ferner je einen in das Klinkermauerwerk eingebauten Rohrschieber (s. Abb. 10b)

auf. Die Schütze und Schieber werden mittels Steckschlüssels und Schraubenspindel vom Gelände aus bedient. Die Schächte C und D sind auf die senkrechten Dükerfallrohre gesetzt und stellen deren senkrechte Verlängerung bis zur Geländehöhe dar. In ihnen vollzieht sich der Übergang der Dükerrohre von der Waagerechten in die Senkrechte durch Krümmen mit einem inneren Halbmesser von 1 m. In jeden dieser beiden Schächte mündet außerdem eine kurze waagerechte Stichleitung (s. St in Abb. 4) vom Hafen aus. Sie dient zum Spülen der Dükerrohre mit Hafenwasser. Auch diese Spüleleitungen sind durch Schieber verschließbar.

Das Auslaufbauwerk besitzt ebenso wie das Einlaufbauwerk vier Schächte (E bis H, Abb. 3 u. 26b). Die beiden Schächte G und H können gegen das Endziel durch zweiteilige Schütze abgeschlossen werden. Anschließend folgt ein kleines Bauwerk, in dem die beiden Leitungen unter einem spitzen Winkel zu einer einzigen mit 1 m Lichtweite zusammengeführt werden.

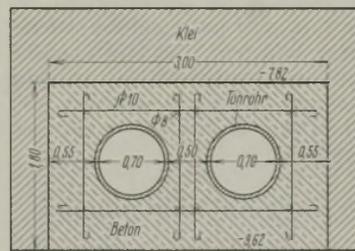


Abb. 5.
Querschnitt durch den Düker
im 1. Bauabschnitt.

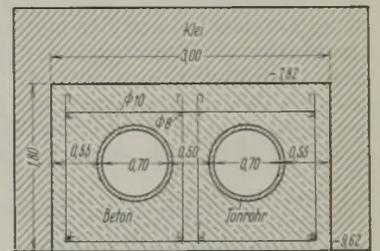


Abb. 6.
Querschnitt durch den Düker
im 2. Bauabschnitt.

Die waagerechte Sohlstrecke zwischen den Häuptern ist, um statisch einfache und klare Verhältnisse zu schaffen und um zu Undichtigkeit führende wilde Rissebildung zu vermeiden, in elf kurze Abschnitte zerlegt. Die Ausbildung der Betonummantelung und seine Bewehrung sind aus Abb. 5 ersichtlich. Die Anordnung der Bewehrung im ersten Bauabschnitt (s. w. u.) erwies sich als hinderlich für die Ausführung. Sie wurde daher im zweiten Bauabschnitt, wie in Abb. 6 dargestellt, abgeändert. Der Beton besteht aus 1 RT Hochofenzement : $\frac{1}{8}$ RT Nettetaler Traß : $\frac{2}{3}$ RT Weserergrobkies : $\frac{2}{3}$ RT Weserfeinkies : $\frac{1}{3}$ RT Sand. Das gesamte Bauwerk einschließlich des Ein- und Auslaufbauwerks, jedoch ausschließlich des Sandfanges, ist, da der Untergrund aus tragfähigem scharfem Sand bestand, ohne besondere Gründung auf diesen Sand gestellt.

Um das Eindringen von Grundwasser und damit unnötige Betriebskosten zu vermeiden, wurde besonderer Wert auf die Wasserdichtigkeit der beiden Rohrstränge gelegt. Die Muffen der Steinzeugrohre wurden, wie in Abb. 7 ersichtlich, mit zwei Lagen Teerstrick und Asphaltkitt gedichtet.

Die Stoßfuge wurde von innen her mit Zementmörtel verstrichen. Der Asphaltkitt wurde in zwei Lagen warm von Hand eingedrückt. Da reiner Asphaltkitt sich als zu spröde erwies und daher nicht einwandfrei dichtete, wurde er mit Teer und Schamottmehl vermischt (10 % Teer : 35 % Schamottmehl : 55 % Asphaltkitt).

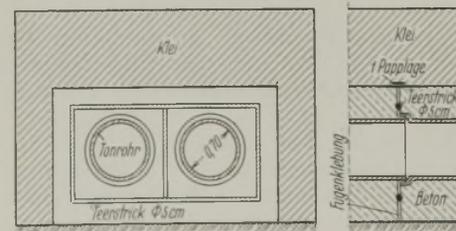


Abb. 8.
Trennungsfuge zwischen zwei Baublöcken
der waagerechten Dükerstrecke.

Die Trennungsfugen im Beton wurden in üblicher Weise aus zwei Lagen Asphaltputze zwischen drei Gudronanstrichen hergestellt. Jedes der beiden Rohre ist ringsum mit einem in den Beton eingelegten 5 cm dicken Teerstrick umgeben (Abb. 8).

Die Haupttrennungsfugen zwischen den Dükerhäuptern und der waagerechten Sohlstrecke (Abb. 9) sind unter Fortfall von Muffen so ausgebildet, daß die beiden verschiedenartigen Bauwerkteile sich unabhängig voneinander in erheblichem Maße bewegen können, ohne

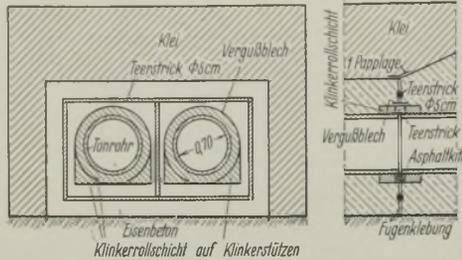


Abb. 9. Haupttrennungsfuge (T in Abb. 4) zwischen Dükerhaupt und waagerechter Dükerstrecke.

daß der Düker undicht wird. — Trotz dieser verschiedenen, mit großer Sorgfalt ausgeführten Dichtungsmaßnahmen zeigte sich bei Beendigung der Bauarbeiten, als das Grundwasser wieder anstieg, daß einige Fugen nicht völlig dicht waren. Der Grund ist in dem Schwinden der Betonblöcke während der Erhärtung zu sehen, wodurch sie, wenn auch in geringem Maße, kürzer geworden waren und die Fugen sich geöffnet hatten. Wenngleich es sich nur um wenige Fugen und geringfügigen Wassereintritt (leichtes Rieseln) handelte, wurden, um Abhilfe zu schaffen, sämtliche Muffen von innen her mit Bleiwohle verstemmt. Danach war der Düker durchaus wasserdicht und ist es, soweit dies ohne nähere Untersuchung beurteilt werden kann, bis heute auch geblieben.

(Fortsetzung folgt.)

Alle Rechte vorbehalten.

Der Rammstahlpfahl für Pfahlrostbauwerke.

Von Dr.-Ing. Agatz, Berlin.

1. Die bisherigen Pfahlarten und Pfahlbaustoffe im Grundbau.

Während der Stahl in den letzten drei Jahrzehnten bei der Verwendung von Spundbohlen für Grund- und Wasserbauwerke sich nicht nur mit Erfolg allgemein Eingang verschafft, sondern auch die Baustoffe Holz und Eisenbeton zurückgedrängt hat und heute bei Spundwandbauwerken als viel geeignetes Bauhilfsmittel und Bauwerksglied für den Bauingenieur unersetzlich geworden ist, hat er sich bei Pfahlgründungen bislang nicht durchsetzen können, obwohl der Pfahlverbrauch allein in den Seehäfen Hamburg-Cuxhaven und Bremen-Bremerhaven in einem Jahrhundert schätzungsweise mit fast $\frac{3}{4}$ Mill. Pfählen zu veranschlagen ist.

Wohl sind die Stahlpfähle — hohl oder voll — als Schraubpfähle seit fast einem Jahrhundert angewendet worden, sie sind aber über einzelne Bauwerke — im Auslande mehr als bei uns in Deutschland — nicht hinausgekommen, wobei ihre Anwendung im Seewasserbau für Molen, Landungsbrücken, Leuchttürme u. a. m. sich meist auf die Gebiete beschränkte, wo Bohrwurm und Bohrrassel auftraten. Die Schraubpfähle haben den Vorteil, sich ohne die schweren Rammgeräte bis zu einer gewissen Tiefe in den Untergrund einbringen zu lassen, und man griff besonders dort, wo neuzeitliche Geräte schwer zu beschaffen oder anzuwenden waren, gern auf sie zurück (Abb. 1).

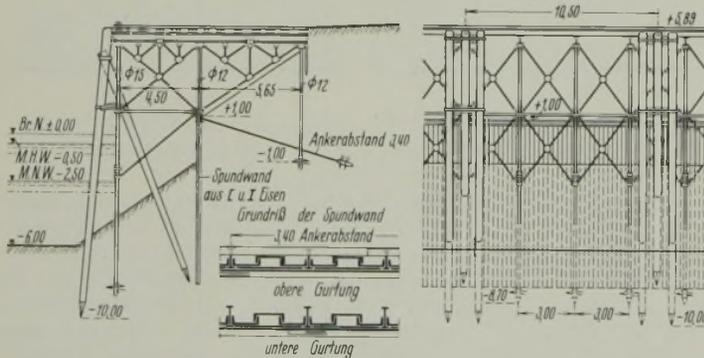


Abb. 1. Schraubpfähle in Bremen.

Ihr Nachteil liegt jedoch in der Beschränkung der Gründungstiefe, in der erhöhten Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit (Hindernisse im Boden sind durch Schrauben nicht zu beseitigen, da ein Festklemmen eintritt. Bereits gröberes Material und sehr fest gelagerter Boden erschweren das Einschrauben genau so wie größere Tiefen), in der Schwierigkeit des Einbringens von Schrägpfählen zur Aufnahme von waagerechten Kräften.

Außerdem sind mit der anderen, am meisten gebräuchlichen Art des Einbringens, dem Rammen, größere Leistungen und vielgestaltigere Gründungsformen zu erreichen und damit auch niedrigere Herstellungskosten verbunden.

Als Rammstahlpfähle fanden hauptsächlich bislang nur I-Profile bei der Einfassung von Baugruben für Untergrundbahnen u. a. m. Anwendung. Der Nachteil des nicht genügend hohen seitlichen Widerstandsmomentes bei den gewöhnlichen I-Trägern zeigt sich des öfteren in dem Abgehen und Aufrollen dieser Eisen, sobald sie auf Widerstände im Boden stoßen. Eine allgemeine Anwendungsmöglichkeit als Bauwerksglied war also noch nicht gegeben. Wenn auch die Breitflanschträger für das Widerstandsmoment eines Stahlpfahles günstiger sind, so können sie den anderen Nachteil schmaler Querschnittsformen, und daher einer geringen Tragfähigkeit, nicht ganz aufheben. Unten offene oder geschlossene Stahlrohre wurden ihrer Kosten wegen in Deutschland nur in Ausnahmefällen benutzt.

Holz hat den Vorteil eines günstigen Beschaffungspreises, einer durch Jahrhunderte erwiesenen Dauerhaftigkeit unter Wasser, des Vorhandenseins im eigenen Lande, einer leichten Beschaffungsmöglichkeit, einer leichten Verarbeitung. Von diesen Vorteilen trat in den letzten Jahrzehnten die leichte Beschaffungsmöglichkeit mehr und mehr in den Hintergrund, da mit dem immer größeren Anwachsen der Schiffsgeflöße auch die Gründungstiefe der Uferbegrenzungsbauwerke wuchs, so daß bei dem zeitweisen Holzraubbau in Deutschland für Pfähle derartiger Bauwerke fast nur noch das ost- und südosteuropäische Ausland als Erzeugungsgebiete in Frage kamen. Die leichtere Bearbeitungsmöglichkeit verlor auch an Bedeutung, da man mit den größeren Höhen der Bauwerke und den neueren Bauverfahren von der elastischen Holzverbundkonstruktion der Rostplatte zu der Eisenbetonrostplatte überging, bei der eine Bearbeitung der Pfahlköpfe nur noch bei Zugpfählen nötig ist.

Mit den ständig sich steigernden Gründungstiefen der Pfähle wächst beim Rammen die Gefahr der Zerstörung des doch immerhin weichen Baustoffes mit seiner nicht immer regelmäßigen Beschaffenheit. Im Seewasserbau findet übrigens der Baustoff Holz dann seine Begrenzung, wenn Bohrwurm und Bohrrassel auftreten.

Den Vorteil des gleichmäßigeren Gefüges mit der Herstellung im eigenen Lande verbindet der Eisenbetonpfahl, dem es aber trotzdem nicht gelang, das Holz zu verdrängen. Gegenüber dem Holz ist er besonders bei großen Längen beim Stapeln, Aufnehmen und Unter-die-Rammebringen empfindlicher.

Gegen Zerstörung beim Rammen war auch er nicht gefeit. Seine Dauerhaftigkeit im angriffsfähigen Untergrund und Wasser ohne besondere Schutzmaßnahmen ist allgemein nicht in der einwandfreien Form wie beim Holzpfahl unter Beweis zu stellen. Die fraglos vorhandene erhöhte Tragfähigkeit des Eisenbetonpfahles vermag die Vorteile der Holzpfähle in allen Fällen nicht aufzuwiegen.

Die Querschnittform der hölzernen Rammfähle, entsprechend der Wuchsform, war durchweg rund und nach unten sich verjüngend. Nur im Auslande, wo die harten schweren Hölzer mit ihren großen Abmessungen billig zu haben waren, ging man auch zu der eckigen Querschnittform über.

Beim Eisenbeton verwendete man die verschiedensten Querschnittsformen: rund, hohl oder voll, eckig, wobei jedoch der eckige — quadratische oder rechteckige — am meisten zur Anwendung gelangte. Mit größerem Pfahlquerschnitt erzielt man wohl größere Tragfähigkeit, es wächst jedoch gleichzeitig damit die Schwierigkeit des Einbringens in den Untergrund.

Gegen Zerstörungen beim Rammen, gegen Angriffe durch Untergrund und Wasser wendeten sich bzw. für eine vergrößerte Tragfähigkeit setzten sich ein die zahlreichen Patente für Beton- und Eisenbetonbohr-, Preß-, Ortpfähle u. a. m. Ihr Anwendungsgebiet hat sich allmählich herausgeschält, wird sich aber auf besondere Fälle beschränken.

Es bleibt also das Einrammen der Pfähle in den Untergrund bislang immer noch das für die Herstellung von Pfahlrostbauwerken zweckmäßige Verfahren. Dabei muß man sich im klaren sein, daß der Rammvorgang selbst fast immer die stärkste Beanspruchung der Pfähle darstellt, wie ich es in meinem Aufsatz über die Stahlspundwände¹⁾ bereits näher ausgeführt habe.

Welche Maßnahmen können nun diese Rammbeanspruchungen vermindern bzw. wie können diese Beanspruchungen sicherer aufgenommen werden?

Eine Querschnittverringern, wie z. B. bei den Stahlbohlen gegenüber den Vollquerschnittsformen in Holz und Eisenbeton oder bei den I-Eisen, hat sofort eine erhebliche Minderung der Tragfähigkeit und damit eine Erhöhung der Kosten zur Folge. Jedes andere Verfahren als Rammen hat bislang technische und wirtschaftliche Nachteile mit sich gebracht, und das Einrüttelverfahren ist über theoretische Überlegungs-

¹⁾ Bautechn. 1933, Heft 35, S. 475.

und Laboratoriumsversuche nicht hinausgekommen, müßte im übrigen auch wiederum erst den harten, domenvollen Weg der praktischen Erprobung gehen.

Das Spülverfahren erleichtert den Rammvorgang und verbilligt ihn, hat aber auch seine Grenzen für Schrägpfähle und bestimmte Bodenverhältnisse. Es birgt bei Bauwerken mit engem Pfahlabstande, bei langen Pfählen, Schrägpfählen und im Untergrunde mit Hindernissen Gefahren für die Pfähle in sich.

Eine Verringerung der Rammtiefe würde naturgemäß die Gefahren beim Einbringen herabsetzen, aber dafür Standsicherheit und Tragfähigkeit in Frage stellen.

So bleibt noch als letzter der Baustoff selbst übrig, der den Anforderungen beim Einbringen in den Untergrund sich um so besser gewachsen zeigt, je dichter, fester und zäher er ist, und es liegt auf der Hand, daß in dieser Hinsicht der Stahl, besonders nach den Fortschritten der Eisenhüttenkunde in den letzten Jahren gegenüber Holz und Eisenbeton erhebliche Vorzüge aufzuweisen hat.

Fassen wir noch einmal zusammen, welche Anforderungen an einen Rammstahlpfehl zu stellen sind:

- Zweckmäßigkeit in statischer und konstruktiver Hinsicht für das Bauwerk selbst,
- Dauerhaftigkeit im Bauwerk (Schutz gegen Angriffe durch Untergrund, Wasser und Luft, gegen mechanische Zerstörungen u. a. m.),
- gute Rammfähigkeit durch alle für Pfahlrostbauwerke in Frage kommenden Bodenarten,
- gute Tragfähigkeit des Pfahles bei derjenigen Eindringungstiefe, wie sie die Standsicherheit des Bauwerks vorschreibt,
- Beschaffungsmöglichkeit im Inlande,
- Wirtschaftlichkeit bei der Baustoffbeschaffung, bei dem Arbeitsvorgang.

Der Stahl wird nur dann mit Erfolg im Grundbau für Pfahlrostbauwerke verwendet werden können, wenn er die Vorteile der Baustoffe Holz und Eisenbeton besitzt und ihre Nachteile vermeidet. Seine Zweckmäßigkeit in statischer und konstruktiver Hinsicht ist durch seine vielseitige Anwendung im Hoch-, Brücken- und Eisenwasserbau und für Stahlspundwände bereits unter Beweis gestellt. Für sein gegenüber Holz und Eisenbeton gefahrloseres Einbringen in den Untergrund und gute Rammfähigkeit liegen die Erfahrungen mit Stahlspundbohlen seit rund 30 Jahren vor. Erhöhten Schutz gegen Angriffe durch Luft, Wasser, Untergrund bieten die neuen Sonderstähle, wie z. B. Cu-Stahl, Resista-Stahl u. a. m. Im Hafen Vegesack bei Bremen (Abb. 2) stehen eiserne Uferwände aus Walzprofilen, die auch heute noch nach 50 Jahren ihren Zweck erfüllen. Die gute Tragfähigkeit, wie sie besonders die Eisenbetonpfähle besitzen, war bislang noch nicht auf wirtschaftlichem Wege zu erreichen. Die Wirtschaftlichkeit bei der Baustoffbeschaffung ist nur dann zu erzielen, wenn eine hohe Tragfähigkeit erreicht wird, die Wirtschaftlichkeit beim Arbeitsvorgang, wenn die Rammung der des Holzpfahles sich angleichen läßt oder sich ihr überlegen zeigt.

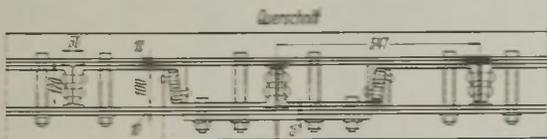


Abb. 2a.

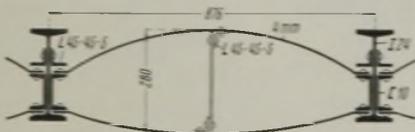


Abb. 2b.

Abb. 2a u. b.
Eiserne Spundwände im Hafen Vegesack.

2. Die Erfahrungen mit den Rammstahlpfählen beim Kaimauerbau in Bremen²⁾ (Abb. 3).

Das Hafenaamt Bremen hat nun unter Zusammenarbeit mit der Dortmunder Union der Vereinigten Stahlwerke Versuche mit verschiedenen Arten von Stahlpfählen angestellt, die erfreulicherweise das eine Ziel im Auge hatten, nicht neue Profilarten zu schaffen, sondern bestehende, allgemeine Gebrauchsformen von Walzprofilen zu verwenden und sie durch einfache Zusatzkonstruktionen den Anforderungen an Rammfähigkeit, Tragfähigkeit und Wirtschaftlichkeit anzupassen. Die Frage der erforderlichen Rammfähigkeit und Tragfähigkeit des Pfahles wurde durch ausgedehnte Proberammungen und Probelastungen geklärt.

²⁾ Die erforderlichen Unterlagen wurden mir in lebenswürdiger Weise von den Kollegen des Hafenaamtes Bremen zur Verfügung gestellt.

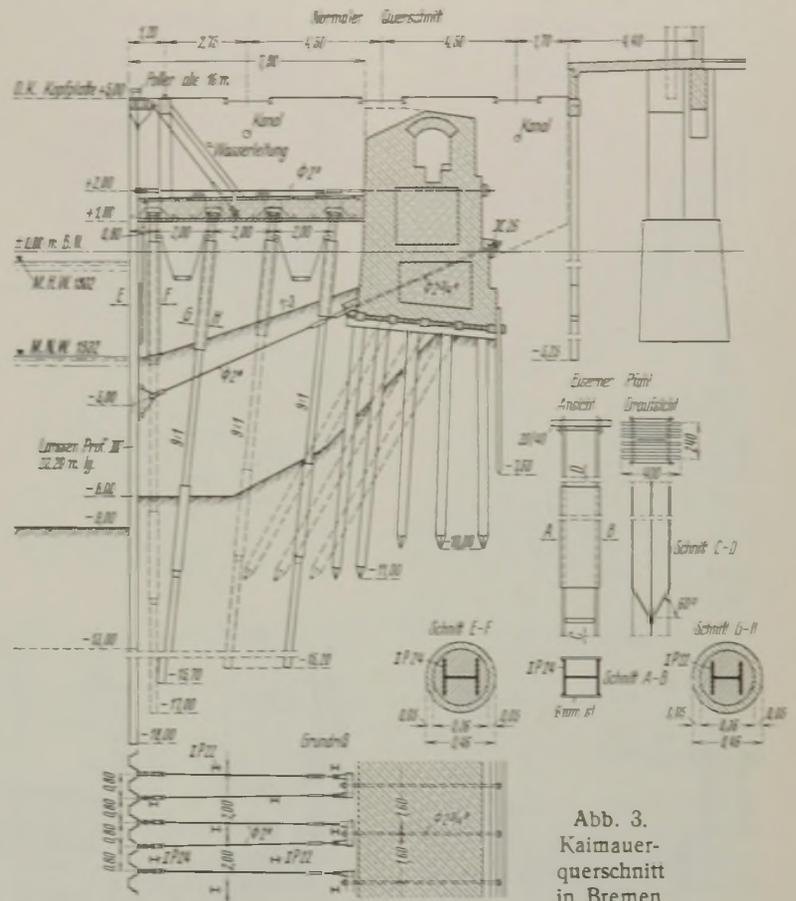


Abb. 3.
Kaimauerquerschnitt in Bremen.

a) Die Form des Stahlpfahles.

Verwendet wurde als Grundform IP 24, bei der durch Belastungsversuche die Feststellung gemacht wurde, daß Querschnitt und Querschnittform nicht ausreichen, um die erforderliche Tragfähigkeit auch auf größere Rammtiefen zu erzielen. Die Rammverfahren bei offenen Rohren und Kastenspundwandisen, daß sich Sandboden beim Rammvorgang so fest zwischen die Wandungen verspannt, daß sie als volle Querschnitte anzusehen sind, wirkte sich bei dem Profil IP 24 nicht so

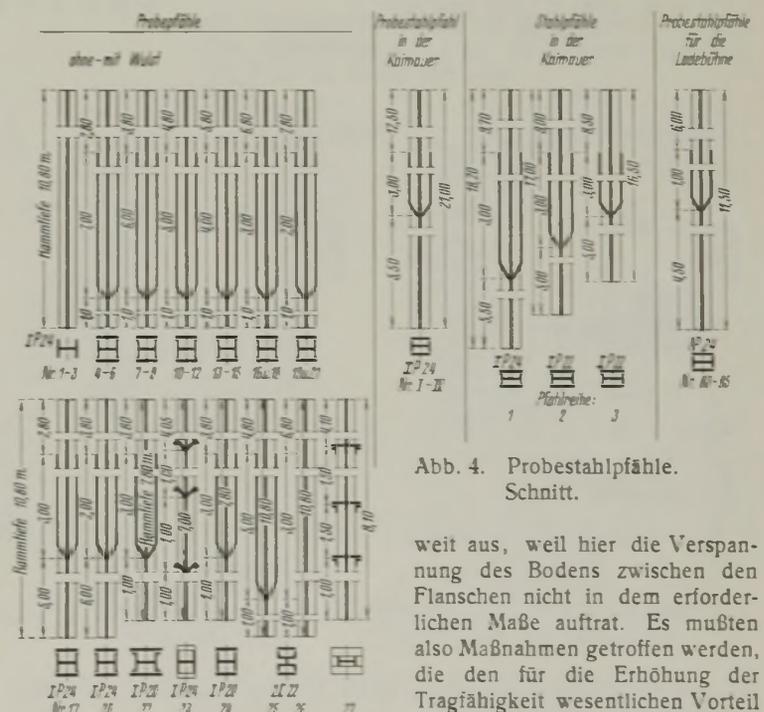


Abb. 4. Probestahlpfähle.
Schnitt.

weit aus, weil hier die Verspannung des Bodens zwischen den Flanschen nicht in dem erforderlichen Maße auftrat. Es mußten also Maßnahmen getroffen werden, die den für die Erhöhung der Tragfähigkeit wesentlichen Vorteil des durch die Bodenverspannung zum vollwandigen Querschnitt gewordenen Pfahles mit seiner teilweisen Mantelreibung von Sand auf Sand, statt wie bisher nur Stahl auf Sand sicherten. Man ging daher dazu über, in einem noch verschiedenen gehaltenen Abstände von der Pfahlspitze aus durch im Winkel angeschweißte Flacheisenstücke zwischen Steg und Flanschen mit anschließenden Flacheisen von verschiedener Länge eine Zusatzkonstruktion zu schaffen, die den zwischen den Flanschen durch den Rammvorgang eingespannten Boden gegen Abrutschen sichern sollte. Abb. 4 zeigt, wie mit ver-

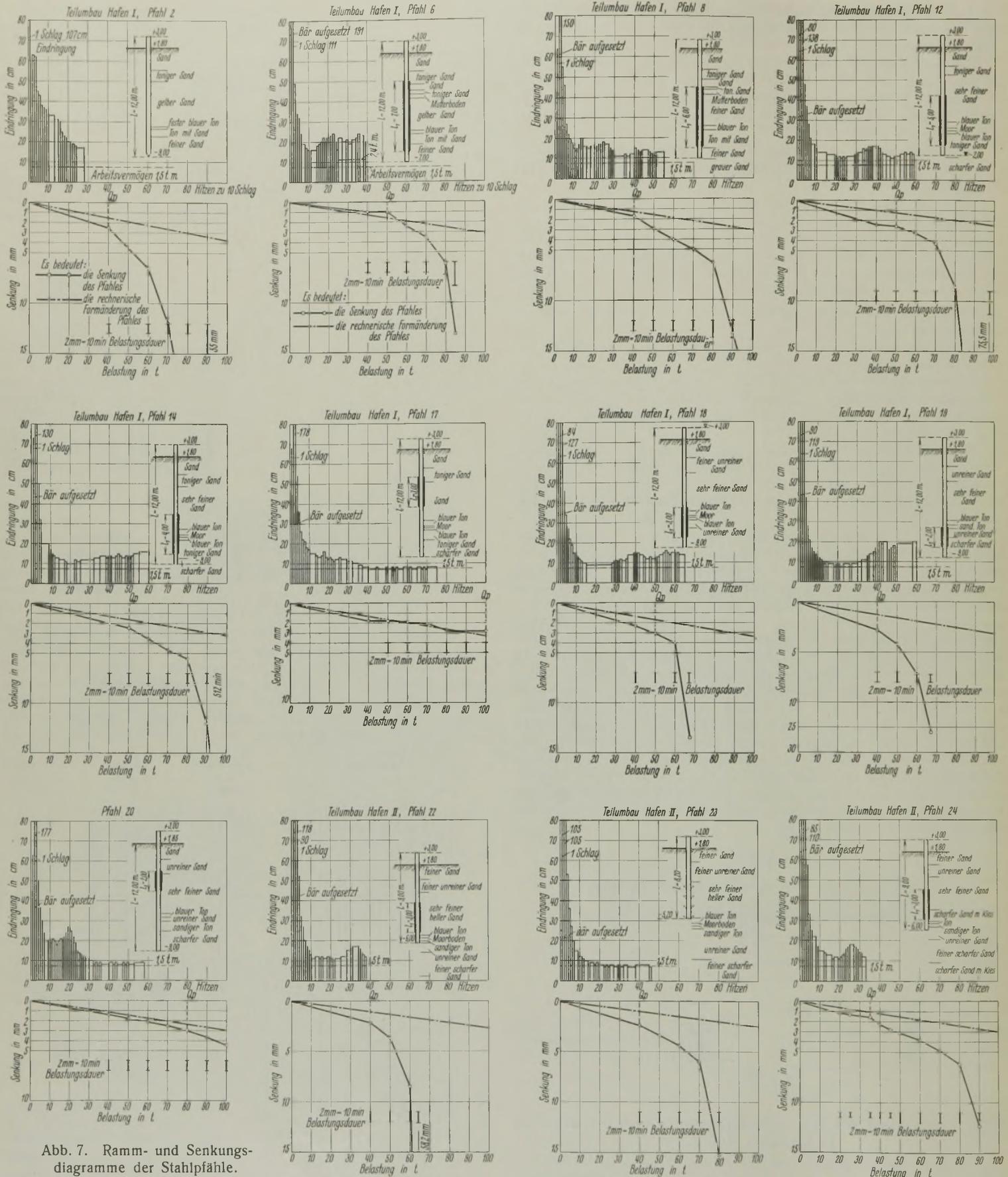


Abb. 7. Ramm- und Senkungsdiagramme der Stahlpfähle.

hältnismäßig einfachen Mitteln eine große Tragfähigkeit des gewöhnlichen IP-Trägers erzielt werden kann.

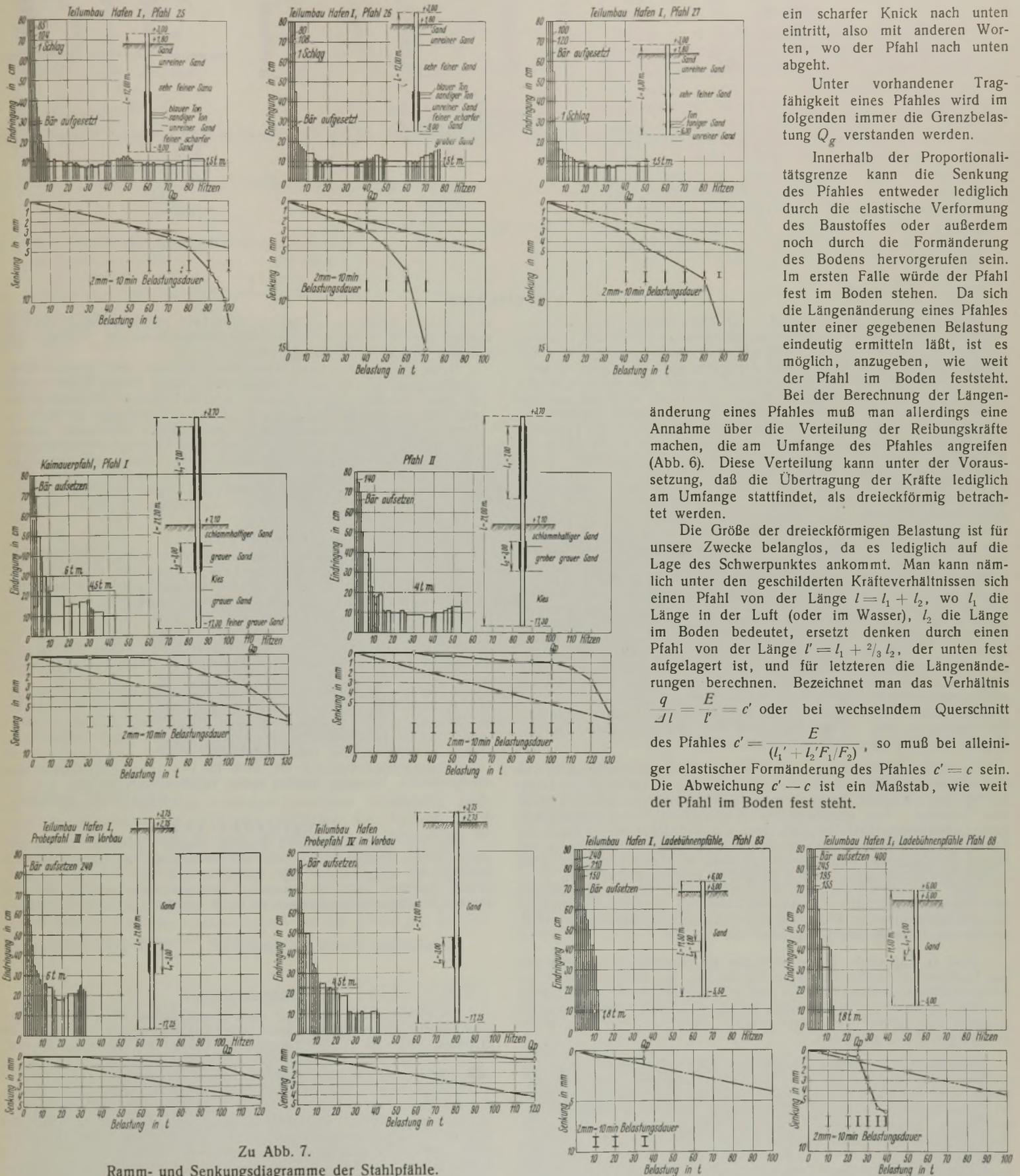
Es wurden insgesamt 27 Probestahlpfähle mit 12 verschiedenen Verstärkungsstrukturen untersucht. Von ersteren waren einmal 3 Pfähle ohne Verstärkungsstruktur, sechsmal 3 Pfähle mit Flacheisenverstärkung von 2, 3, 4, 5, 6, 7 m Länge, deren Entfernung von dem Trägerende zwischen 1 und 6 m schwankte und im folgenden kurz als Spitze des Pfahles bezeichnet wird. Die übrigen 6 Pfähle hatten an Stelle der zweiseitigen die vierseitige Verstärkung aus Flacheisen oder Winkelrahmen oder Hakenspitzen. Ihre verschiedenen Formen gehen aus Abb. 5 hervor.

b) Belastungsversuche mit Stahl-, Holz- und Eisenbetonpfählen.

Die verschiedenen Proberammungen und Probelastungen ergaben alsdann für die vorliegenden Bodenverhältnisse das Kriterium für Lage und Länge der Verstärkungsstruktur, sodaß das Hafenbauamt Bremen daraufhin sich entschließen konnte, diese Stahlpfähle für den Vorbau der Ufermauer am Hafen I anzuwenden.

Betrachtet man Senkungsdiagramme von Pfählen, wie Abb. 7, 10 u. 11, so läßt sich nach Terzaghi³⁾ allgemein folgender Verlauf der Beziehungs-

³⁾ Terzaghi, Erdbaumechanik auf bodenphysikalischer Grundlage. S. 263. Leipzig und Wien 1925. Verlag Franz Deuticke.



Zu Abb. 7.

Ramm- und Senkungsdiagramme der Stahlpfähle.

linie verfolgen, der je nach den Bodenverhältnissen mehr oder weniger ausgeprägt in Erscheinung tritt (Abb. 5). Bis zu einer Belastung Q_p läßt sich annähernd eine proportionale Zunahme der Senkung mit wachsender Belastung feststellen. Man bezeichnet daher den Wert Q_p in Anlehnung an das Spannungs-Dehnungs-Diagramm bei festen Körpern als Proportionalitätsgrenze. Der Proportionalitätsfaktor $c = \frac{q}{s}$ für diesen Bereich wird Senkungsziffer des Pfahles genannt. Man bezieht dabei q auf die Flächeneinheit des Pfahlquerschnittes (kg/cm^2) und mißt die Senkung s in cm. Unter Grenzbelastung Q_g versteht man jenen Punkt im Senkungsdiagramm, wo

ein scharfer Knick nach unten eintritt, also mit anderen Worten, wo der Pfahl nach unten abgeht.

Unter vorhandener Tragfähigkeit eines Pfahles wird im folgenden immer die Grenzbelastung Q_g verstanden werden.

Innerhalb der Proportionalitätsgrenze kann die Senkung des Pfahles entweder lediglich durch die elastische Verformung des Baustoffes oder außerdem noch durch die Formänderung des Bodens hervorgerufen sein. Im ersten Falle würde der Pfahl fest im Boden stehen. Da sich die Längenänderung eines Pfahles unter einer gegebenen Belastung eindeutig ermitteln läßt, ist es möglich, anzugeben, wie weit der Pfahl im Boden feststeht.

Bei der Berechnung der Längenänderung eines Pfahles muß man allerdings eine Annahme über die Verteilung der Reibungskräfte machen, die am Umfange des Pfahles angreifen (Abb. 6). Diese Verteilung kann unter der Voraussetzung, daß die Übertragung der Kräfte lediglich am Umfange stattfindet, als dreieckförmig betrachtet werden.

Die Größe der dreieckförmigen Belastung ist für unsere Zwecke belanglos, da es lediglich auf die Lage des Schwerpunktes ankommt. Man kann nämlich unter den geschilderten Kräfteverhältnissen sich einen Pfahl von der Länge $l = l_1 + l_2$, wo l_1 die Länge in der Luft (oder im Wasser), l_2 die Länge im Boden bedeutet, ersetzt denken durch einen Pfahl von der Länge $l' = l_1 + \frac{2}{3}l_2$, der unten fest aufgelagert ist, und für letzteren die Längenänderungen berechnen. Bezeichnet man das Verhältnis

$\frac{q}{\Delta l} = \frac{E}{l'} = c'$ oder bei wechselndem Querschnitt des Pfahles $c' = \frac{E}{(l_1' + l_2' F_1/F_2)}$, so muß bei alleiniger elastischer Formänderung des Pfahles $c' = c$ sein. Die Abweichung $c' - c$ ist ein Maßstab, wie weit der Pfahl im Boden fest steht.

Die angegebene Berechnung der elastischen Formänderung des Pfahles bleibt auch dann gültig, wenn keine genau dreieckförmige Verteilung der Reibung am Umfange vorhanden ist, sofern nur der Schwerpunkt dieser Verteilung annähernd in $\frac{2}{3}$ der Rammtiefe liegt. Es ist schon eine sehr starke Abweichung in der Verteilung der Reibungskräfte erforderlich, damit der Schwerpunkt merklich verschoben wird, so daß auch bei wechselnden Bodenschichten von obigem Ansatz Gebrauch gemacht werden kann.

Gehen wir nunmehr auf die Belastungsversuche und Rammresultate näher ein, so ergibt sich folgendes Bild:

