

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Weiß, H.**

**Zur Neufassung von DIN 4014, Ausgabe März 1990**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/102358>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Weiß, H. (1991): Zur Neufassung von DIN 4014, Ausgabe März 1990. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Vorträge. "Johann-Ohde-Kolloquium" der Bundesanstalt für Wasserbau und der Technischen Universität Dresden am 7. November 1991 in Berlin. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 14-24.

## Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Zur Neufassung von DIN 4014, Ausgabe März 1990

**1 Einleitung**

Die wichtigsten Änderungen gegenüber DIN 4014, Blatt 1 und Blatt 2, ohne Wertung der Reihenfolge sind:

- Der Anwendungsbereich wurde zusammengefaßt und erweitert auf Pfahldurchmesser von 0.3 m bis 3.0 m.
- Einzelpfähle mit nicht kreisförmigem Durchmesser werden in die Norm aufgenommen.
- Die Norm gilt für verrohrt und unverrohrt hergestellte Pfähle unter Verwendung  
-einer Tonsuspension als Stützflüssigkeit  
-durchgehender Bohrschnecken
- Das Betonieren ohne Schüttrohr im trockenen Bohrloch wird zugelassen.
- Das äußere Tragverhalten wird neu geregelt.

**2 Anwendungsbereich**

Die Norm gilt nun für Bohrpfähle mit einem Durchmesser  $0.3 \text{ m} \leq D \leq 3.0 \text{ m}$ . Selbstverständlich unterscheiden sich die Pfähle, deren Durchmesser in den angegebenen Grenzen liegt, in ihrem Last-Setzungsverhalten. Bei der Auswertung einer großen Zahl von Pfahlprobelastungen hat sich aber gezeigt, daß das Produkt Sohlspannung\*Pfahldurchmesser für eine jeweils vorgegebene Setzung bei sonst gleichen Verhältnissen hinsichtlich der Festigkeit des Bodens annähernd konstant ist (FRANKE 1981). Annähernd deshalb, weil die Festigkeit eines Bodens als Naturprodukt erheblich streut und in unmittelbarer Umgebung eines Pfahles nach seiner Herstellung oftmals auch nicht bekannt ist (diese Gesetzmäßigkeit ergibt sich aber z.B. aus der Setzungsgleichung nach DIN 4019). Für die normative Festlegung bedeutet dieser Sachverhalt nun, daß für alle Pfähle mit einem Durchmesser in den betrachteten Grenzen nicht das absolute, sondern das auf den Pfahldurchmesser bezogene Last-Setzungsverhalten gleich ist. Demzufolge werden die Sohlspannungen in den Tabellen für die Ermittlung des äußeren Tragverhaltens nicht mehr absoluten Setzungen  $s$ , sondern den auf den Pfahldurchmesser  $D$  bezogenen relativen Setzungen  $s/D$  (0.01; 0.02; 0.03; 0.1) zugeordnet.

---

Autor: Dr.-Ing. H. Weiß  
Deutsche Forschungsgesellschaft für  
Bodenmechanik, Berlin

### **3 Zur Frage von Spezialpfählen**

Ein kurzer Abschnitt über Spezialpfähle war bisher nur in Blatt 1 der DIN 4014 zu finden. Die Normen sollen in Zukunft einerseits nur noch Mindestanforderungen enthalten, andererseits aber den Anwendungsbereich soweit abstecken, daß man sich später nicht mehr mit Sonderpfählen und Spezialpfählen befassen muß. Der Begriff "Bohrpfahl" muß deshalb eindeutig und umfassend definiert sein. Es heißt nunmehr:

Bohrpfähle sind Ortbetonpfähle, die in einen in den Boden gebohrten Hohlraum durch Einbringen von Beton, gegebenenfalls mit Bewehrung, hergestellt werden.

Es kommt also nicht darauf an, wie das Loch hergestellt wird (z.B. bei Schlitzwandelementen), sondern ausschließlich darauf, daß ein Loch hergestellt und damit Boden entnommen wird. Alles andere fällt unter den Begriff "Verdrängungspfähle".

### **4 Schlitzwandelemente**

Schlitzwandelemente werden in neuerer Zeit auch als axial belastete Gründungskörper verwendet. Form und Querschnitt dieser Elemente können den statischen Erfordernissen gut angepaßt werden. Nach der Definition fallen sie zwar eindeutig unter den Oberbegriff "Bohrpfähle", müssen aber dennoch besonders erwähnt werden, weil ihr Setzungsverhalten von der Querschnittsform abhängt. Näheres hierüber enthält die Tabelle 6 der Norm.

### **5 Unverrohrt hergestellte Pfähle**

#### **5.1 Der Einsatz von Tonsuspension**

Bisher wurde in DIN 4014 lediglich darauf hingewiesen, daß die Pfahltragfähigkeit bei Verwendung von Tonsuspension als stützende Flüssigkeit an Stelle eines Bohrrohres ungünstig beeinflußt werden kann.

Zur Lösung dieses Problems hatte die Degebo auf ihrem Versuchsgelände vor etwa 10 Jahren einige Pfahlprobelastungen durchgeführt (WEISS/HANACK 1983). Vier Löcher wurden unter Verwendung eines Bohrrohres hergestellt, zwei davon anschließend unter Ziehen des Rohres mit einer Tonsuspension verfüllt. Bei dadurch erhaltener exakt gleicher Pfahlgeometrie war die später im Versuch gemessene Mantelreibung um 40% bzw. mehr als 50%

geringer als bei den konventionell hergestellten Pfählen. Anders verhielt es sich bei einem weiteren Pfahl, bei dem die Bohrlochwandung unmittelbar durch eine Tonsuspension gestützt wurde. Die Mantelfläche war sehr uneben, die Betonkubatur rd. 30% größer. Eine Abminderung der Mantelreibung war in diesem Fall nicht nachzuweisen. Für die Normung ergab sich daraus die Konsequenz, daß die unterschiedliche Herstellungsart der Pfähle in der Praxis keinen Einfluß auf deren äußeres Tragverhalten hat.

## **5.2 Herstellen von Bohrpfählen mit auf ganzer Länge durchgehender Bohrschnecke**

Auf einige Besonderheiten, die das äußere Tragverhalten negativ beeinflussen können, wird hingewiesen. Beim Bohren sind Vorschub und Drehzahl der Bohrschnecke aufeinander abzustimmen, sonst kann mehr Boden gefördert werden, als dem Bohrlochvolumen entspricht, und zwar aus der näheren und weiteren Umgebung des Bohrloches mit der Folge einer erheblichen Auflockerung des Bodens und der damit verbundenen Abnahme seiner Tragfähigkeit und gegebenenfalls auch des Entzuges der Stütze von Nachbarfundamenten.

Ferner wird gerätetechnisch unterschieden zwischen Bohrschnecken mit kleinem und mit großem Zentralrohr. Im ersten Fall muß die Bewehrung nach dem Betonieren in den Frischbeton hineingedrückt oder -gezogen werden. Das erfordert entsprechende Erfahrung und entsprechende Geräte. Noch wichtiger ist aber in diesem Fall, daß der am Fuß der Bohrschnecke austretende Frischbeton unter einem Überdruck stehen muß, der sicherstellt, daß der beim Ziehen der Bohrschnecke freigegebene Raum sofort mit Frischbeton verfüllt wird.

## **6 Betonieren ohne Schüttrohr**

Lotrecht verrohrt oder mit durchgehender Bohrschnecke hergestellte Bohrlöcher, in denen kein Wasser steht, dürfen unter Verwendung eines Schüttrichters mit einem anschließenden, mindestens 2 m langen Schüttrohr zubetoniert werden. Es ist sicherzustellen, daß dieses Schüttrohr seine lotrechte Lage im Bohrrohr während des ganzen Betoniervorgangs beibehält. Entsprechende Versuche der Firma Bauer, Schrobenausen, haben ergeben, daß der Frischbeton durch den freien Fall nicht entmischt wird.

## 7 Betonqualität

Die Norm weicht diesbezüglich etwas von der DIN 1045 ab. Das betrifft die Gewährleistung der Fließfähigkeit und die rechnerische Festigkeit des Betons. Hier haben entsprechende Erfahrungen der Bohrpfahlfirmen ihren Niederschlag gefunden.

## 8 Äußeres Tragverhalten bei axialer Beanspruchung

### 8.1 Allgemeines

Das Procedere ist gegenüber der früheren Ausgabe unverändert. Es wird für einen Pfahl mit vorgegebenen Abmessungen eine Last-Setzungslinie konstruiert (Bild 1). Diese Verfahren hat sich bewährt und geht auch konform mit den Ausführungen in Abschnitt 5.6 der DIN 1054, Fassung November 1976; denn es handelt sich hierbei nicht um ein erdstatisches oder empirisches Berechnungsverfahren. Die Tabellenwerte sind Erfahrungswerte im Sinne der DIN 1054; sie stammen aus einer Vielzahl von charakteristischen Werten von Pfahlprobelastungen.

Neu gegenüber der früheren Fassung ist, daß die Festigkeit des nichtbindigen Bodens bei der Ermittlung des äußeren Tragverhaltens differenziert berücksichtigt wird. Das ist natürlich ein Fortschritt. Denn bisher wurde nur unterschieden zwischen dem sogenannten Normalfall, der durch einen Sondierwiderstand in den Grenzen  $10 \text{ MN/m}^2 \leq q_s \leq 15 \text{ MN/m}^2$  gekennzeichnet ist, und Fällen mit höherer Festigkeit, in denen ein gewisser prozentualer Zuschlag zu den Tabellenwerten gestattet wird. Außerdem hat die Erfahrung immer wieder bestätigt, daß das Last-Setzungsverhalten eines Bohrpfahles in einem Boden mit einem Sondierwiderstand von  $10 \text{ MN/m}^2$  sich bereits signifikant unterscheidet von dem in einem Boden mit einem Sondierwiderstand von  $15 \text{ MN/m}^2$ .

### 8.2 Tabellenwerte

#### 8.2.1 Nichtbindiger Boden

Maßgebendes Kriterium für die Festigkeit des nichtbindigen Bodens und damit Eingangswert in die Tabellen ist der mit der Spitzendrucksonde (CPT) gemessene Sondierwiderstand  $q_s$ , ersatzweise der mit der schweren Rammsonde gemessene Sondierwiderstand  $N_{10}$ , ersatzweise der bei dem Standard Penetration Test (SPT) gemessene

Sondierwiderstand  $N_{30}$ . Für die Umrechnung von  $N_{10}$  auf  $q_s$  gilt:  $q_s/N_{10} = 1 \text{ MN/m}^2$ . In Tabelle 3 sind Umrechnungsfaktoren zwischen dem Sondierwiderstand  $q_s$  und der Schlagzahl  $N_{30}$  für verschiedene nicht-bindige Bodenarten angegeben.

Für die Festlegung der Tabellenwerte in Abhängigkeit von dem Sondierwiderstand wurde an bereits früher gefundene empirische Beziehungen angeknüpft, wonach zwischen dem Sondierwiderstand einerseits und Mantelreibung bzw. Tragfähigkeit andererseits ein linearer Zusammenhang besteht (z.B. Bilder 4, 5 und 13 in WEISS 1978).

Für eine Auswertung zur Verfügung standen die Ergebnisse von rd. 130 Pfahlprobebelastungen (FRANKE 1989). Die Auswertung gestaltete sich insofern etwas schwierig, als nur wenige Probebelastungen so instrumentiert gewesen sind, daß der Anteil der Pfahlfußkraft und der Pfahlmantelkraft getrennt ausgewiesen werden konnten. In diesen Fällen ergab sich eine vorsichtig abgeschätzte Mantelreibung  $r_{mg} = q_s \cdot 0.008$ . Dieser Wert ist etwas kleiner als der für eine Setzung von 3 cm abgeleitete Wert im wasserführenden Sand von 0.01 (Bild 13 in WEISS 1978). In (WEISS/HANACK, 1983) wurde ein Verhältniswert von 0.009 ermittelt. Der normative Faktor von 0.008 ist somit ein im Sinne der GRUSIBAU vorsichtig geschätzter charakteristischer Wert für den Grenzwert der Mantelreibung.

Damit kann nun der Anteil der Mantelreibung an der Gesamttragfähigkeit bestimmt werden. Diese Last muß nur noch einer bestimmten Setzung zugeordnet werden. Hierfür kann man näherungsweise den Punkt, an dem die Last-Setzungslinie die stärkste Krümmung aufweist, als die Stelle deuten, an der die Mantelreibung annähernd ihr Maximum erreicht hat.

Trägt man nun die Werte Pfahlmantelkraft und Setzung im Punkt der stärksten Krümmung der Last-Setzungslinie auf, so erhält man einen noch überschaubaren Punkthaufen (Bild 2). Aufgetragen sind 82 Wertepaare von Versuchen im Sand, im Ton, von Pfählen mit und ohne Fußverbreiterung. Die eingezeichnete Gerade und damit die Gleichung für die Grenzsetzung in Abhängigkeit von der Pfahlmantelkraft

$$s_{mg} = 0.5 + 0.5[\text{cm/MN}] \cdot Q_{mg} \quad [\text{cm}]$$

ist rein empirisch. Eine getrennte Auswertung für bindigen und für nichtbindigen Boden ergab keinen signifikanten Unterschied.

Mit diesem Ansatz für die Mantelreibung könnte man nun auch den Anteil der Pfahlfußkraft an der Gesamttragfähigkeit bestimmen. Damit liegt man aber auf der unsicheren Seite, denn dieser Anteil ergäbe sich mit dem definierten charakteristischen Wert der Mantelreibung zu hoch. Deshalb ist es richtig, für die Ermittlung der Pfahlfußkraft eine obere Schranke der Mantelreibung anzusetzen. Die Auswertung erfolgte für diskrete Werte der bezogenen Setzung  $s/D = 0.01, 0.02, 0.03$  und  $0.1$ . Das Ergebnis ist an einem Beispiel für  $s/D = 0.02$  in Bild 3 dargestellt. Das ist nun ein ziemlich unregelmäßige Punkthaufen. Die Prüfung auf Signifikanz einer Abhängigkeit zwischen Sohlspannung und Sondierwiderstand ergibt keine klare Aussage. Dafür gibt es verschiedene Gründe:

Der zugeordnete Sondierwiderstand entspricht nicht dem tatsächlicher Wert, weil

- nicht unmittelbar neben dem Pfahl und unterhalb der Pfahlfußebene sondiert worden ist
- der Boden bei der Pfahlherstellung gestört worden ist
- in den meisten Fällen mit der schweren Rammsonde sondiert worden ist; der Umrechnungsfaktor für  $q_s$  ist aber auch eine streuende Größe
- mögliche Gestängereibung bei den Sondierungen mit der SRS 15 einen zu hohen Sondierwiderstand vortäuscht
- die Mantelreibung und damit auch die Pfahlfußkraft als Differenz zwischen Gesamtlast und Mantelreibung ebenfalls eine streuende Größe ist.

Dennoch kann man damit etwas anfangen. Denn die normative Festlegung soll ja auf der sicheren Seite liegen. Die in Bild 3 eingezeichnete Gerade stellt als untere Grenze die Normwerte dar; alle Versuchswerte sind größer. Das sind dann die charakteristischen Werte für die Sohlspannungen in der Pfahlfußebene.

Der Grenzwert für die Mantelreibung wird i.a. bereits bei Setzungen erreicht, die durchaus noch einem Gebrauchszustand zugeordnet werden können. Das bedeutet, daß hier keine Widerstandsreserven mehr vorhanden sind. Die Sicherheit gegenüber dem Bruch ist nach der herkömmlichen Definition gleich eins. Die Sicherheitsreserven liegen damit ausschließlich im Pfahlspitzendruck, der bei entsprechenden Setzungen sehr hohe Werte erreichen kann. Bild 4 zeigt die Last-Setzungslinie eines Pfahles aus dem erwähnten Probebelastungsprogramm, der inzwischen noch rd.

1.3 m tiefer gedrückt worden ist. Bei einer Setzung von z.B. 30 cm betrug die Sohlspannung bereits rd.  $6 \text{ MN/m}^2$ ; ein Bruch ist noch nicht zu erkennen. In diesem Fall ist nach noch geltender Vorschrift die maximal aufgebrachte Belastung die Grenzlast, das sind rd. 10 MN. Die zulässige Last ergäbe sich dann mit einem globalen Sicherheitsfaktor von 2 zu 5 MN. Die zugehörige Setzung beträgt rd. 8 cm. Diese Setzung wird mit Sicherheit für einen Überbau zu groß sein, so daß der Nachweis für den Grenzzustand 2 maßgebend sein wird, wonach die zulässige Last so festzulegen ist, daß eine für den Überbau noch verträgliche Setzung nicht überschritten wird.

Bei diesem Sachverhalt erhebt sich die Frage, ob bei Bohrpfählen mit großem Durchmesser überhaupt ein Nachweis für den Grenzzustand 1 erforderlich ist. In diesem Punkt zeigt sich eine Parallele zu den Flachgründungen auf: Unter schmalen Fundamenten ist stets der Grundbruch, unter breiten Fundamenten die zulässige Setzung maßgebendes Kriterium für die zulässige Bodenpressung (siehe auch Tabellen für zulässige Bodenpressungen unter setzungsempfindlichen und unter setzungs-unempfindlichen Bauwerken in DIN 1054).

### 8.2.2 Bindiger Boden

Maßstab für die Festigkeit des Bodens und damit Eingangsgröße für die Tabellenwerte ist die Anfangsfestigkeit  $c_u$  im nicht dränierten und nicht konsolidierten Zustand. In Berlin und im norddeutschen Raum stehen verbreitet Geschiebelehm und Geschiebemergel an, das sind leicht plastische, oftmals nicht wassergesättigte bindige Böden mit erheblicher geologischer Vorbelastung durch das Gletschereis. Im allgemeinen ist es daher wenig sinnvoll, die Anfangsfestigkeit dieser Böden zu bestimmen. Es fehlt somit der Einstieg in die Tabellen. Die Norm läßt sich also auf diese Böden nicht anwenden.

### 8.3 Pfahlgruppen

Allgemeine Vorschriften hierzu enthält DIN 1054. Angaben, ab wann zwei oder mehr beieinander stehende Pfähle als Gruppe zu behandeln sind, fehlen in allen Pfahlnormen (und auch in DIN 1054). Der in DIN 4014, Blatt 1, angegebene Mindestabstand von 3\*Pfahldurchmesser hat hiermit nichts zu tun; er bezieht sich lediglich darauf, nachteilige, herstellungstechnisch bedingte Einflüsse auf Nachbarpfähle auszuschließen.

Der Grund, warum derartige Angaben fehlen, ist, daß diese nicht allgemeingültig formuliert werden können, weil zu viele Einflüsse von Bedeutung sind, z.B. Verhältnis von Pfahlmantel- zu Pfahlfußkraft und die Pfahlgeometrie. Die gegenseitige Beeinflussung sehr langer Reibungspfähle wirkt sich z.B. auf wesentlich größere Entfernung aus als die von kurzen Spitzendruckpfählen mit großem Durchmesser.

## 9 Äußeres Tragverhalten bei horizontaler Beanspruchung

### 9.1 Einzelpfahl

Hier ist man zunächst auf die Durchführung entsprechender Probelastungen angewiesen, um

- die horizontale Verschiebung in Abhängigkeit von der Pfahllast zu erhalten
- unter Verwendung der bekannten und im allgemeinen auch schon programmierten Berechnungsverfahren für horizontal gebettete Pfähle je nach Verteilungstyp des Bettungsmoduls nach der Tiefe einen Anhalt über die Größenordnung des Bettungsmoduls zu erhalten.

Die Nachweispflicht beschränkt sich bei horizontaler Belastung auf den Grenzstand 2, weil man davon ausgehen kann, daß die zulässigen Horizontalverschiebungen stets kleiner sind als im Bruchzustand. Außerdem ist nachzuweisen, daß die Kontaktspannungen zwischen Pfahl und Boden unter Berücksichtigung von Vorzeichen und Größe des Wandreibungswinkels an keiner Stelle den Grenzwert des passiven Erddrucks überschreiten dürfen.

### 9.2 Pfahlgruppen

Neu ist die Horizontalbelastung von Pfahlgruppen, genauer gesagt, die Verteilung der Horizontalbelastung auf die einzelnen Pfähle einer Gruppe (FRANKE/KLÜBER 1989). Hier wird nur auf den entsprechenden Abschnitt 7.4.3 verwiesen. Zwei Grenzfälle sind zu unterscheiden:

- Ist der lichte Pfahlabstand  $a_l$  in Richtung der einwirkenden Größe kleiner als der Pfahldurchmesser, so trägt die erste Pfahlreihe die gesamte Last.
- Ist der lichte Pfahlabstand  $a_{0A}$  bzw.  $a_{0Z}$  quer zur Richtung der einwirkenden Größe kleiner als der Pfahldurchmesser, darf von einer durchgehenden Wand ausgegangen werden.

## 10 Schlußbemerkung

Bohrpfähle sind in den letzten Jahren immer wieder als unzuverlässige Gründungselemente angesehen worden. Leider auch von der Jurisdiktion aufgrund entsprechender Schadensfälle. Nun ist es allerdings Angelegenheit der Hersteller von Bohrpfählen, durch fachgerechte -normgerechte- Arbeit diesen Makel auszuräumen. Die Norm wurde so formuliert, daß die Verantwortung des Pfahlherstellers für sein Produkt an keiner Stelle in Frage gestellt oder in Zweifel gezogen werden kann. Bei fachgemäßer Ausführung sind Bohrpfähle nach wie vor ein sicheres Gründungselement.

### Literatur

- |  |  |
|--|--|
| DIN 4014<br>Ausgabe März 90<br>FRANKE (1981) | Bohrpfähle, Herstellung, Bemessung und Tragverhalten.<br>Neue Erkenntnisse über den Spitzendruck von Pfählen in Sand und einige praktische Erkenntnisse.<br>Bautechnik 1981.   |
| FRANKE/<br>KLÜBER (1989)                     | Pfahlgruppen unter Horizontalbelastung.<br>Bauingenieur 1989.  |
| FRANKE (1989)                                | Entwicklung der Tragfähigkeitsangaben in den Deutschen Pfahlnormen. Bautechnik 1989.   |
| WEISS (1978)                                 | Vorträge der Baugrundtagung 1978 in Berlin.<br>Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Essen.   |
| WEISS/<br>HANACK (1983)                      | Der Einfluß der Lagerungsdichte des Bodens und der Herstellungsart von Großbohrpfählen auf deren Tragfähigkeit.<br>Heft 35 der Mitteilungen der Deutschen Forschungsgesellschaft für Bodenmechanik (Degebo) an der Technischen Universität Berlin. |

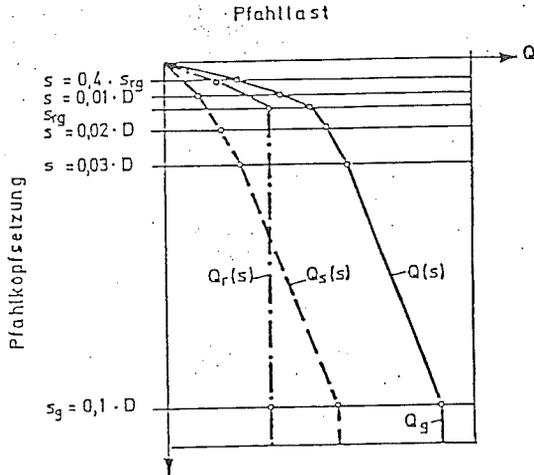


Bild 1: Konstruktion der Last-Setzungslinie unter Verwendung der Tabellen 2, 3, 5 und 6

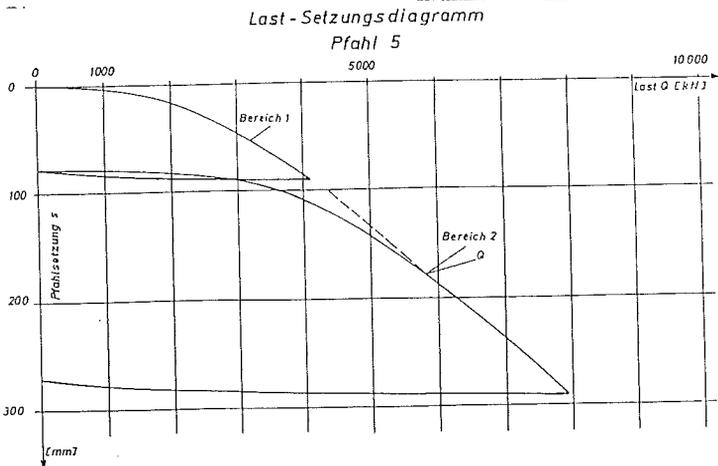


Bild 4

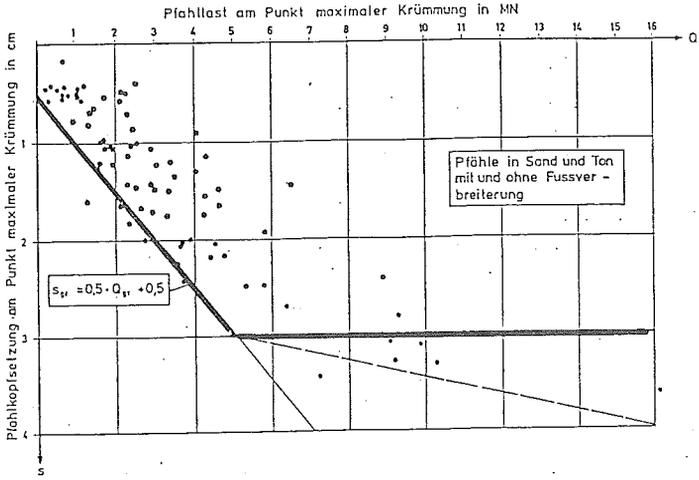


Bild 2

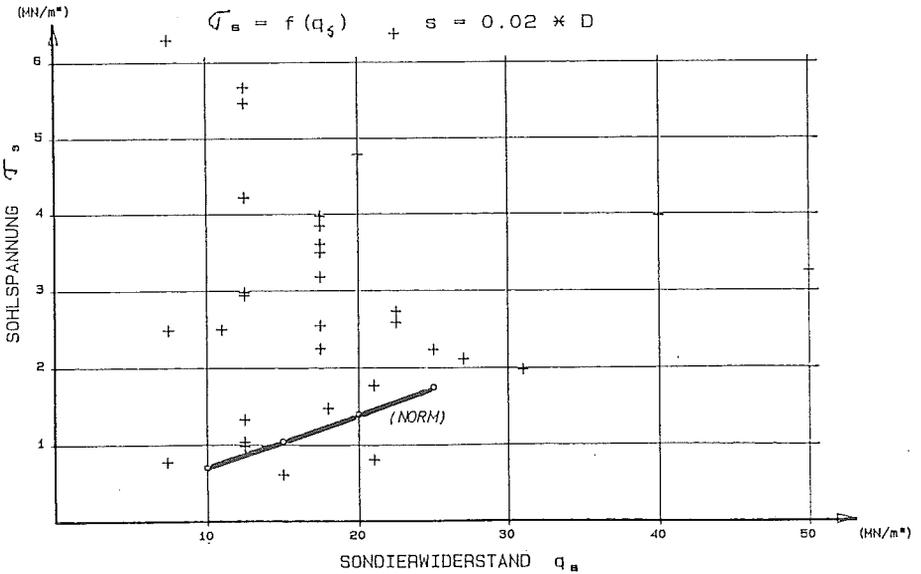


Bild 3