

Bohrpfähle

Herstellung, Bemessung und Tragverhalten

DIN
4014

Bored piles; construction procedure, design and bearing behaviour
 Pieux forés; Fabrication, dimensionnement et comportement au chargement

Ersatz für
 DIN 4014 T 1/08.75
 und
 DIN 4014 T 2/09.77

Diese Norm ist das Beratungsergebnis eines gemeinsamen Ausschusses des Fachbereichs Baugrund des Normenausschusses Bauwesen im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. und der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. Da Entwurf, Berechnung und Ausführung von Bohrpfählen gründliche Kenntnis der Bauart und große Erfahrung erfordern, dürfen damit nur solche Unternehmen und Ingenieure betraut werden, die diese Voraussetzungen erfüllen und eine fachgerechte Ausführung sicherstellen. Als verantwortlicher Bauleiter des Unternehmens darf nur bestimmt werden, wer die Bauart und ihre Ausführung gründlich kennt. Die Arbeiten dürfen nur durch Bohrmeister, die Bohrpfähle bereits mit Erfolg hergestellt haben, beaufsichtigt werden. Die Unfallverhütungsvorschriften (UVV) der gewerblichen Berufsgenossenschaften, insbesondere beim Befahren von Hohlräumen, sind zu beachten.

Inhalt

	Seite		Seite
1 Anwendungsbereich	2	7 Ermittlung des äußeren Tragverhaltens in nichtbindigen und bindigen Böden	7
2 Begriffe	2	7.1 Axialer Widerstand von Druckpfählen	7
2.1 Bohrpfähle	2	7.1.1 Allgemeines	7
2.2 Tragverhalten	2	7.1.2 Spitzenwiderstand des Einzelpfahls in Abhängigkeit von den Setzungen nach den Tabellen 1 und 2	7
2.2.1 Äußeres Tragverhalten	2	7.1.3 Mantelreibung des Einzelpfahls nach den Tabellen 4 und 5	8
2.2.2 Inneres Tragverhalten	2	7.1.4 Ermittlung der Widerstandsetzungs- linie nach Tabellenwerten	8
2.3 Nenndurchmesser	2	7.1.5 Abminderungsfaktoren für nicht kreisförmige Bohrpfähle (Schlitzwandelemente)	9
3 Bezeichnung	2	7.2 Ermittlung der Widerstandhebungslinie der Zugpfähle	9
4 Erkundung des Baugrunds	2	7.3 Gruppenwirkung bei Einwirkungen in axialer Richtung	9
5 Beton und Bewehrung, Bemessung, innere Tragfähigkeit	3	7.4 Horizontale Einwirkungen auf Vertikalpfähle	9
5.1 Allgemeines	3	7.4.1 Allgemeines	9
5.2 Festigkeitsklassen und Betonzusammensetzung	3	7.4.2 Einzelpfähle	9
5.3 Betondeckung	3	7.4.3 Pfahlgruppen	10
5.4 Bewehrung	3	8 Ermittlung des Bruchwiderstands in Fels	11
5.5 Bemessung in besonderen Fällen	3	8.1 Einwirkungen in axialer Richtung	11
5.6 Berücksichtigung von geometrischen Imperfektionen	3	8.2 Einwirkungen in horizontaler Richtung	11
5.7 Pfahlfußverbreiterungen	3	8.3 Abweichungen vom Regelfall	11
6 Herstellung	4	Anhang A Mustervordrucke für das Herstellen von Bohrpfählen	12
6.1 Bauleitung	4	Anhang B Anwendungsbeispiel zur Ermittlung einer Widerstandsetzungsline für einen verrohrt hergestellten Bohrpfahl BV - 0,90 unter vertikalen Einwirkungen nach Bild B.1	18
6.2 Bohrarbeiten	4	Anhang C Anwendungsbeispiel zur Ermittlung der horizontalen Verteilung der Widerstandsgrößen in einer Pfahlgruppe	19
6.2.1 Bohrwerkzeuge	4	Zitierte Normen und andere Unterlagen	20
6.2.2 Verrohrt Bohren	4	Weitere Unterlagen	20
6.2.3 Unverrohrt Bohren	4		
6.2.4 Unverrohrt Bohren mit durchgehender Bohrschnecke	5		
6.2.5 Anschneiden von Fußverbreiterungen	5		
6.2.6 Überprüfen der Baugrunderkundung	5		
6.3 Betonarbeiten	5		
6.3.1 Allgemeines	5		
6.3.2 Güteprüfung	5		
6.3.3 Einbringen des Betons	6		
6.3.4 Betonkonsistenz	6		
6.3.5 Unterwasserbeton	6		
6.3.6 Ziehen der Bohrrohre	6		
6.3.7 Herrichten der Pfahlköpfe	6		
6.4 Bewehrungsarbeiten	6		
6.4.1 Allgemeines	6		
6.4.2 Ausbildung des Bewehrungskorbs	6		

Fortsetzung Seite 2 bis 22

Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm gilt für

- a) Bohrpfähle mit folgenden Maßen
 - Durchmesser 0,3 m bis 3,0 m
 - Neigung nicht flacher als 4 : 1
 - Mindestpfahlänge im Baugrund 5,0 m oder fünf-facher Pfahldurchmesser, wobei der größere Wert maßgebend ist. Wird diese Länge unterschritten, gelten nur die Anforderungen der Abschnitte 4, 5 und 6.
- b) Bohrpfähle mit nichtkreisförmigem Querschnitt, z.B. Schlitzwandelemente nach DIN 4126
- c) Bohrpfahlwände

Es werden die Anforderungen und Bedingungen behandelt, die mit der Bemessung, der Herstellung und dem Tragverhalten verbunden sind. Hinsichtlich der Bemessung ist dabei folgendes zu beachten:

Diese Norm definiert die grundlegenden Anforderungen an die Herstellung und die Ermittlung der Widerstandsgrößen Q von Bohrpfählen. Die Bemessungsgrößen der Widerstände Q_d werden ermittelt, indem man den Bruchwiderstand Q_f durch einen in DIN 1054 festgelegten Teilsicherheitsbeiwert γ_M teilt. Die Bemessungsgrößen der Einwirkungen S_d werden den Bemessungsgrößen der Widerstände Q_d gegenübergestellt, so daß die Grenzzustands-gleichung

$$Q_d - S_d \geq 0 \quad (1)$$

erfüllt wird. Die Ermittlung der Bemessungsgrößen ist nicht Gegenstand dieser Norm, siehe DIN 1054.

Anmerkung: Die Angaben über das Tragverhalten gelten für Einzelpfähle. Bei vertikal belasteten Pfahlgruppen ist DIN 1054 anzuwenden. Da vertikale Bohrpfähle häufig auch horizontale Lasten abtragen, wird die Gruppenwirkung für die Bemessung horizontaler Pfahlwiderstände in diese Norm aufgenommen.

2 Begriffe

2.1 Bohrpfähle

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

Anmerkung: Der Hohlraum wird entweder verrohrt, unverrohrt, unverrohrt mit Stützflüssigkeit oder unverrohrt mit durchgehender Bohrschnecke hergestellt.

2.2 Tragverhalten

2.2.1 Äußeres Tragverhalten

2.2.1.1 Das äußere Tragverhalten wird durch die Abhängigkeit zwischen Pfahlwiderstand und Pfahlkopfverschiebung beschrieben.

2.2.1.2 Das äußere Tragverhalten $Q(s)$ in axialer Richtung wird durch den Pfahlwiderstand Q in Abhängigkeit von der axialen Pfahlkopfverschiebung s (Pfahlkopfsetzung bzw. -hebung) angegeben. Der Bruchwiderstand Q_f wird bei der Pfahlkopfsetzung bzw. -hebung s_f erreicht, bei deren Überschreitung der Pfahlwiderstand Q nicht weiter gesteigert werden kann.

$$Q = Q(s) \quad (2)$$

$$Q_f = Q(s_f) = \max Q \quad (3)$$

2.2.1.3 Das Tragverhalten $H(y)$ oder $H(\alpha)$ in Richtung quer zur Pfalachse wird durch den Pfahlwiderstand H in Abhän-

gigkeit von der horizontalen Pfahlkopfverschiebung y oder einer entsprechenden Pfahlkopfverdrehung α angegeben.

$$H = H(y) \text{ bzw. } H = H(\alpha) \quad (4) \text{ bzw. } (5)$$

2.2.2 Inneres Tragverhalten

Das innere Tragverhalten wird durch das Tragverhalten des Pfahlbaustoffs beschrieben.

2.3 Nenndurchmesser

Der Nenndurchmesser des Pfahlschaftes ist der größte Durchmesser des Bohrrohrs (bei BV, siehe Abschnitt 3) bzw. des Bohrwerkzeugs (bei BU, siehe Abschnitt 3).

3 Bezeichnung

Für die Bezeichnung eines Bohrpfahls werden folgende Kurzzeichen eingeführt:

- B Bohrpfahl
- V Verrohrt
- U Unverrohrt
- E Unverrohrt mit durchgehender Bohrschnecke hergestellt
 - mit großem Zentralrohr $D_i : D_a \geq 0,55$
 - mit kleinem Zentralrohr $D_i : D_a < 0,55$
 - dabei ist D_i Zentralrohrdurchmesser,
 - D_a Bohrschneckendurchmesser
- S als Schlitzwandelement
- F mit Fußverbreiterung
- M mit Mantelverpressung
- P mit Fußverpressung

Hinter dem Kurzzeichen ist nach einem Bindestrich

- das Verhältnis Pfahlschaft- zu Pfahlfußdurchmesser $D : D_F$,
- bei Schlitzwandelementen das Seitenverhältnis Ausbruchdicke zu Länge des Schlitzwandelements $d_a : l_E$ und
- bei Herstellung mit durchgehender Bohrschnecke das Durchmesser Verhältnis $D_i : D_a$ anzugeben.

Bezeichnung eines Bohrpfahls (B), verrohrt (V) mit Fußverbreiterung (F), einem Pfahlschaftdurchmesser von 0,80 m und einem Pfahlfußdurchmesser von 1,10 m:

Pfahl DIN 4014 – BVF – 0,80 – 1,10

Bezeichnung eines Bohrpfahls (B), verrohrt (V), mit einem Pfahlschaftdurchmesser von 0,80 m ohne Fußverbreiterung:

Pfahl DIN 4014 – BV – 0,80

4 Erkundung des Baugrunds

Der Baugrund ist nach DIN 4020 (z. Z. Entwurf) zu erkunden. Die sich anschließende Erkundung nach DIN 4021 (z. Z. Entwurf) muß Aufschluß geben über

- Folge der Bodenschichten,
- die Grundwasserträger, die Grundwasserstände und ihre Wechsel, gespanntes Grundwasser,
- die Tragfähigkeit und die Mächtigkeit der tragenden Schicht.

Die Bodeneigenschaften, insbesondere die Korngrößenverteilung und die Festigkeitseigenschaften, z. B. I_C (nach

DIN 18 122 Teil 1), $c_u = q_u/2$ (nach DIN 18 136 und DIN 18 137 Teil 1 und Teil 2) sind, soweit es die angetroffenen Bodenschichten zulassen, durch bodenmechanische Laborversuche, sonst durch Feldversuche, vorzugsweise durch Sondierungen (nach DIN 4094 (z. Z. Entwurf) und DIN 4096), zu ermitteln.

In Fels und in felsartigen Böden sind Aufschluß und Untersuchungsverfahren zu wählen, die neben dem Schichtenaufbau, der Gesteinsart und der Gesteinsfestigkeit auch den erforderlichen Einblick in die Gebirgsfestigkeit vermitteln. So sind insbesondere Versuche zur Ermittlung der einaxialen Druckfestigkeit q_u nach den Empfehlungen des DGEG-Arbeitskreises Versuchstechnik im Fels [1] und der Veränderlichkeit in Wasser nach DIN 4022 Teil 1 auszuführen.

Die Erkundungstiefe im Fels ist gleich der Erkundungstiefe im Lockergestein (siehe DIN 4020 (z. Z. Entwurf)). Abweichungen, die bei günstigen geologischen Verhältnissen zugelassen werden dürfen, sind zu begründen.

Zur Abschätzung des horizontalen äußeren Tragverhaltens von Bohrpfählen quer zur Pfahlachse sind die Steifemoduln des Baugrunds anzugeben, in bindigem Boden sind sie aus Laborversuchen, in nichtbindigem Boden aus Sondierungen zu ermitteln, sofern nicht örtliche Erfahrungen zur Verfügung stehen.

Grundwasser und Boden sind auf betonangreifende (siehe DIN 4030) und korrosionsfördernde Stoffe (siehe DIN 50 929 Teil 3) und erforderlichenfalls auf solche Eigenschaften zu untersuchen, welche die kolloidchemische Stabilität einer stützenden Flüssigkeit beeinträchtigen können.

5 Beton und Bewehrung, Bemessung, innere Tragfähigkeit

5.1 Allgemeines

Bohrpfähle sind zur Aufnahme der nach DIN 1054 zu ermittelnden Bemessungswerte der einwirkenden Schnittgrößen nach DIN 1045 zu bemessen, soweit im folgenden nichts anderes bestimmt wird. Die Einleitung der am Pfahlkopf wirkenden Schnittgrößen in bewehrte oder unbewehrte Bohrpfähle ist nachzuweisen.

Bei Bohrpfählen, die in einen Boden einbinden, dessen Kohäsion im undrained Zustand $c_u \leq 15 \text{ kN/m}^2$ ist, ist abweichend von DIN 1054 der Knicksicherheitsnachweis zu führen. Statt des Nachweises $c_u > 15 \text{ kN/m}^2$ genügt auch der Nachweis, daß die Konsistenzzahl $I_C > 0,25$ ist.

5.2 Festigkeitsklassen und Betonzusammensetzung

Für Bohrpfähle mit oder ohne Fußverbreiterung muß mindestens ein Beton der Festigkeitsklasse B 25 nach DIN 1045 verwendet werden. Eine höhere Festigkeitsklasse als B 25 darf rechnerisch nicht in Ansatz gebracht werden. Abweichungen sind für verroht hergestellte Pfähle mit $D \geq 0,75 \text{ m}$ unter der Voraussetzung ständiger Aufsichtsführung durch den Bauleiter zulässig.

Für die unbewehrten Primärpfähle von überschnittenen Bohrpfahlwänden ist ein Beton mit geringerer Festigkeitsklasse als B 25 zulässig.

Die Kornzusammensetzung des Betonzuschlags soll im günstigen Bereich nach DIN 1045 liegen. Das Größtkorn des Zuschlags darf für bewehrte Bohrpfähle unter 0,40 m Durchmesser 16 mm nicht überschreiten.

Der Zementgehalt muß bei Verwendung von Zuschlagsgemischen 0 bis 16 mm mindestens 400 kg/m^3 Beton und bei

Verwendung von Zuschlagsgemischen 0 bis 32 mm mindestens 350 kg/m^3 Beton betragen. Der Wasser-Zement-Wert muß kleiner als 0,6 sein.

5.3 Betondeckung

Die Betondeckung der Bewehrung darf 50 mm nicht unterschreiten. Wird unter Verwendung einer Tonsuspension als stützende Flüssigkeit gebohrt, so ist zur Sicherung der Betondeckung zwischen Bewehrung und Bohrungswand eine lichte Durchflußweite von 70 mm vorzusehen, damit es nicht zu Einschlüssen von Tonsuspension kommt.

Bei Bohrpfählen, die mit Wasser oder Boden in Berührung kommen, das nach DIN 4030 schwach bis stark betonangreifend ist, ist Beton mit hohem Widerstand gegen chemische Angriffe nach DIN 1045 zu verwenden. Als Betondeckung reichen die im ersten Absatz dieses Abschnitts angegebenen Werte aus.

Bei sehr starkem Betonangriff müssen Gegenmaßnahmen nach DIN 1045 ergriffen werden.

5.4 Bewehrung

Bewehrte Bohrpfähle sind nach DIN 1045 auszubilden. Für Bohrpfähle, die eine Längsbewehrung aus Betonstahl erhalten, ist Betonrippenstahl mit einem Mindestdurchmesser von 16 mm zu wählen.

Die Querbewehrung ist in Form von Bügeln oder Wendeln anzuordnen, deren Stabdurchmesser und Abstände bzw. Ganghöhen nach DIN 1045 zu wählen sind. Die Stabdurchmesser dürfen nicht kleiner als 6 mm und die Abstände bzw. Ganghöhen nicht größer als 0,25 m sein.

Auf eine Bewehrung darf bei Bohrpfählen mit einem Schaftdurchmesser $D \geq 0,50 \text{ m}$ verzichtet werden, wenn sie statisch nicht erforderlich ist. Besteht eine lastverteilende Wirkung nach Abschnitt 5.6, darf auch bei Bohrpfählen mit einem Schaftdurchmesser $D < 0,50 \text{ m}$ auf eine Bewehrung verzichtet werden, wenn sie statisch nicht erforderlich ist. Schrägpfähle sind stets zu bewehren. Bei Zugpfählen ist die Zugbewehrung unvermindert über die ganze Länge des Bohrpfahls zu führen.

5.5 Bemessung in besonderen Fällen

Sofern Bohrpfähle durch Seitendruck aus Bewegungen des Bodens belastet werden oder solche Belastungen zu erwarten sind, ist eine Untersuchung nach den Empfehlungen der DGEG „Seitendruck auf Pfähle durch Bewegungen von weichen bindigen Böden“ [2] durchzuführen.

5.6 Berücksichtigung von geometrischen Imperfektionen

Bei der Bemessung von Bohrpfählen sind als herstellungstechnisch bedingte geometrische Imperfektionen eine Exzentrizität $e = 0,05 \cdot D$ (D = Pfahlschaftdurchmesser in cm), mindestens aber 5 cm, und eine Pfahlneigung $n = 0,015$ gegenüber dem Sollwert zu berücksichtigen, soweit nicht das angewandte Herstellungsverfahren oder die örtlichen Verhältnisse den Ansatz größerer Werte von e und n erfordern. Auf die Berücksichtigung dieser Imperfektionen darf verzichtet werden, wenn die Einflüsse einer ungewollten Biegebeanspruchung $Q \cdot e$ durch die lastverteilende Wirkung von Pfahlrostplatten, Pfahljochen oder ähnlichen Konstruktionen ausgeschlossen werden.

5.7 Pfahlfußverbreiterungen

Der Überstand einer Pfahlfußverbreiterung bleibt bei Druckpfählen unbewehrt. Sinngemäß nach DIN 1045 dürfen Fußverbreiterungen bis zur Neigung hergestellt werden, bei

der das Verhältnis von Fußhöhe zum Fußüberstand 2 : 1 ist, soweit nach Abschnitt 6.2.5 nichts anderes bestimmt wird.

6 Herstellung

6.1 Bauleitung

Während des Herstellens der Bohrpfähle muß der verantwortliche Bauleiter oder sein Vertreter auf der Baustelle anwesend sein. Über das Herstellen jedes einzelnen Bohrpfahls ist auf der Baustelle ein Vordruck auszufüllen, der von dem verantwortlichen Bauleiter oder seinem Vertreter täglich gegenzuzeichnen ist (Mustervordrucke für das Herstellen von Bohrpfählen siehe Anhang A).

6.2 Bohrarbeiten

6.2.1 Bohrwerkzeuge

Die Art der Bohrwerkzeuge ist auf die anstehenden Böden und die Grundwasserverhältnisse abzustimmen. Die Auswahl der Bohrwerkzeuge ist unter dem Gesichtspunkt vorzunehmen, über den Pfahldurchmesser und unter den Pfahlfuß hinausreichende Auflockerungen zu vermeiden.

Anmerkung: Zu diesem Zweck ist bei Verwendung von Bohrwerkzeugen mit Reißzähnen oder ähnlicher Ausrüstung die Bohrungssohle nach Erreichen der Solltiefe abzugleichen. Auflockerungen unter der Bohrungssohle sind zu beseitigen. Da solche Auflockerungen oft erst im Laufe der Zeit eintreten, ist Geräten der Vorzug zu geben, mit denen die Bohrungen schnell hergestellt und die Dauer zwischen der Fertigstellung der Bohrung und dem Betonieren kurz gehalten werden kann.

Bei Bohrungen unter dem Grundwasserspiegel und solchen, die mit Flüssigkeitsüberdruck gestützt werden, darf der Überdruck durch die Kolbenwirkung beim Ziehen des Bohrwerkzeugs nicht beeinträchtigt werden.

6.2.2 Verrohrtes Bohren

Die Verrohrung der Bohrung soll Auflockerungen in der Umgebung des Bohrpfahls beim Bohren einschränken. Sie ist zwingend erforderlich, wenn der durchhörte Boden auch bei Verwendung von stützender Flüssigkeit nicht stand-sicher ist und mit Ausbrüchen aus der Bohrungswand gerechnet werden muß.

Beim Bohren unter dem Grundwasserspiegel und bei gespanntem Grundwasser ist im Bohrrohr Wasserüberdruck bzw. der Überdruck einer anderen Flüssigkeit (im allgemeinen eine Tonsuspension) ständig aufrecht zu erhalten, um einen hydraulischen Grundbruch des Bodens zu verhindern. Jedes Eintreiben von Bodenteilchen mit nach der Bohrung zusickerndem Grundwasser (Sohleintrieb) ist auszuschließen.

Die Verrohrung muß dem Bohrfortschritt voreilen, um unter die Bohrungen reichende Auflockerungen während des Bohrvorgangs zu verhindern. In weichen bindigen und in nichtbindigen Böden, besonders in Feinsand und Schluff unter dem Grundwasserspiegel, ist im allgemeinen ein Voreilmaß bis zu einem halben Rohrdurchmesser erforderlich.

Wenn Sohleintrieb zu befürchten ist, muß das Voreilmaß größer gewählt oder der Überdruck der stützenden Flüssigkeit erhöht werden, erforderlichenfalls durch Anwendung von Aufsatzrohren auf das Bohrrohr über Gelände. In bindigen Böden von mindestens halbfester Konsistenz ist das Voreilen der Verrohrung nicht immer möglich und auch nicht zwingend erforderlich; die Verrohrung darf jedoch vom Bohrwerkzeug seitlich nicht unterschritten werden und muß dem Bohrfortschritt unmittelbar folgen. Um diese Anforderung zu erfüllen, muß neben dem Drehmoment zum

Eindrehen des Bohrrohrs eine ausreichende Vertikalkraft zum Eindrücken des Bohrrohrs vorhanden sein.

Ist die Solltiefe der Bohrung erreicht und ist keine Fußverbreiterung vorgesehen, muß der Boden bis zur Unterkante der Verrohrung ausgeräumt werden. Der Pfahl muß unmittelbar nach dem Ausräumen des Bodens betoniert werden.

Anmerkung 1: Das Ausräumen bis zur Unterkante der Verrohrung ist erforderlich, um zu vermeiden, daß im Boden unter dem Pfahlfuß Auflockerungen entstehen, die sonst nach dem Ziehen der Verrohrung unter dem Bohrpfahl auftreten; Betonieren unmittelbar nach dem Bohren ist erforderlich, um zu vermeiden, daß die Bohrungssohle auflockert oder aufweicht.

Bohrpfähle sollen am selben Tage gebohrt und betoniert werden. Bei Bohrpfählen, die bis zum Ende der Arbeitszeit nicht mehr fertiggestellt werden können, ist mindestens eine Länge gleich dem zweifachen Durchmesser, wenigstens aber die letzten 1,5 m, unmittelbar vor dem Betonieren am nächsten Tage zu bohren.

Anmerkung 2: Der Schneidkranzüberstand an der Unterkante des Bohrrohrs sollte so klein wie möglich gehalten werden, um Auflockerungen in der Pfahlumgebung zu vermeiden.

In jedem Fall ist die Bohrungssohle durch wiederholtes Abloten zu prüfen und sicherzustellen, daß keinerlei Veränderungen durch Nachbruch, Sohleintrieb oder Sedimentation eintreten.

6.2.3 Unverrohrtes Bohren

In standfestem Baugrund darf unverrohrt gebohrt werden. Dabei ist der obere Teil der Bohrung zur Führung des Bohrwerkzeugs und wegen des Einflusses des Baubetriebs durch ein Schutzrohr zu sichern.

Die Bohrungssohle ist zur Verringerung von Kraftschlußsetzungen zu säubern, und zwar bei unbewehrten Bohrpfählen unmittelbar vor dem Betonieren, bei bewehrten Bohrpfählen vor dem Einsetzen des Bewehrungskorbs. Zur Sicherstellung der größtmöglichen Mantelreibung sind Bohrwerkzeuge zu verwenden, die rauhe Bohrungswände erzeugen. Schrägpfähle sollen nicht unverrohrt hergestellt werden.

Bohrpfähle sollen am selben Tag gebohrt und betoniert werden. Bei Bohrpfählen, die bis zum Ende der Arbeitszeit nicht mehr fertiggestellt werden können, ist eine Länge gleich dem zweifachen Durchmesser, mindestens jedoch 1,5 m, unmittelbar vor dem Betonieren am nächsten Tag herzustellen. Steht die Bohrung vor dem Betonieren länger als 10 Stunden nur mit Tonsuspension gefüllt, muß der Filterkuchen im Bereich der Krafteintragungslänge entfernt werden. Falls das nicht möglich ist, muß die Mantelreibung auf $\frac{2}{3}$ des sonst gültigen Werts der Tabellen 4 und 5 abgemindert werden.

In jedem Fall ist die Bohrungssohle durch wiederholtes Abloten zu prüfen und sicherzustellen, daß keinerlei Veränderungen durch Nachbruch, Sohleintrieb oder Sedimentation eintreten.

Werden mit unverrohrten Bohrungen nicht standfeste Bodenschichten durchfahren, so ist die Bohrungswand durch einen Flüssigkeitsüberdruck zu stützen. Während des gesamten Bohr- und Betoniervorgangs darf der Spiegel der stützenden Flüssigkeit zu keinem Zeitpunkt bis zur Unterkante der Schutzverrohrung bzw. bis zu einer Tiefe von 1,0 m über dem Grundwasserspiegel sinken. Ein ausreichender Vorrat an Stützflüssigkeit ist vorzuhalten.

Falls Wasser als stützende Flüssigkeit nicht ausreicht, ist eine Tonsuspension nach DIN 4126 zu verwenden. Bei Schlitzwandelementen ist stets mit Tonsuspension zu stützen.

Bei Verwendung von Tonsuspension als Stützflüssigkeit ist unmittelbar vor dem Betonieren etwa 0,5 m über der Bohrungssohle eine Probe aus der Suspension zu entnehmen; deren Dichte und Fließgrenze sind zu messen. Bei Verwendung einer stützenden Flüssigkeit nach DIN 4127 darf, abweichend von DIN 4126, bei bewehrten Bohrpfehlen während des gesamten Betoniervorgangs die Dichte den Wert von $\rho_F = 1,20 \text{ t/m}^3$ und die wirksame Fließgrenze den Wert von $\tau_F = 30 \text{ N/m}^2$ nicht übersteigen.

Bei unbewehrten Bohrpfehlen ist der Grenzwert für die Dichte $\rho_F = 1,30 \text{ t/m}^3$ bzw. für die Fließgrenze $\tau_F = 40 \text{ N/m}^2$. Wird einer dieser Werte überschritten, so ist die Tonsuspension ganz oder teilweise auszutauschen. Bei einem teilweisen Austausch muß die Tonsuspension über die gesamte Pfahltiefe homogenisiert werden.

Vor Beendigung des Betoniervorgangs ist erneut eine Probe der Tonsuspension etwa 1,5 m oberhalb des Betonierspiegels zu entnehmen, um die Werte der Dichte und der Fließgrenze auch gegen Ende des Betonierens zu überprüfen. Die oben genannten Werte sollen auch dann nicht überschritten werden. Anderenfalls sind für die nächsten Bohrpfähle Abänderungen in der Rezeptur erforderlich.

In Böden mit einer Kohäsion im undrännierten Zustand $c_u \leq 15 \text{ kN/m}^2$ dürfen Bohrpfähle nicht unverrohrt hergestellt werden. Statt des Nachweises $c_u > 15 \text{ kN/m}^2$ genügt auch der Nachweis, daß die Konsistenzzahl $I_C > 0,25$ ist.

6.2.4 Unverrohrtes Bohren mit durchgehender Bohrschnecke

Beim unverrohrten Bohren mit durchgehender Bohrschnecke sind Vorschub und Drehzahl so auf die Baugrundverhältnisse abzustimmen, daß die Bodenförderung auf ein Maß begrenzt wird, welches die seitliche Stützung der unverrohrten Bohrungswand sicherstellt. Die Bohrschnecke muß beim Ziehen im gleichen Sinn wie beim Bohren gedreht oder ohne Drehung gezogen werden.

Die Anzahl der Umdrehungen ist tiefenabhängig automatisch zu registrieren; die Meßschriebe sind Bestandteil des Bohrprotokolls.

Es muß sichergestellt werden, daß in das Innenrohr der Bohrschnecke beim Bohren weder Wasser noch Boden eindringen kann.

Pfahleigungen größer 6° (10 : 1) sollen nicht überschritten werden.

In gleichförmigen kohäsionslosen Böden mit einer Ungleichförmigkeitszahl $U \leq 3$ unter dem Grundwasserspiegel und in bindigen Böden mit einer Kohäsion im undrännierten Zustand $c_u \leq 15 \text{ kN/m}^2$ darf das Verfahren nicht angewendet werden.

6.2.5 Anschneiden von Fußverbreiterungen

In ausreichend standfestem Boden dürfen Hohlräume hergestellt werden, die einen erweiterten Pfahlfuß aufnehmen. Ausgenommen sind Kiese mit Steinen sowie Böden mit Geröllagen.

Das Fußanschneidegerät muß eine konzentrische Fußherstellung sicherstellen; die Spreizung des Geräts über den Pfahlschaftdurchmesser hinaus muß ablesbar und kontrollierbar sein. Werden andere Geräte oder Verfahren zur Fußherstellung verwendet, müssen die Beschaffenheit und die geometrische Form des Fußhohlraums kontrolliert werden. In jedem Fall ist die Bohrungssohle durch wiederholtes Abloten unmittelbar vor dem Betonieren zu prüfen und sicherzustellen, daß keinerlei Veränderungen durch Nachbruch, Sohleintrieb oder Sedimentation eintreten.

Werden Pfahlfußverbreiterungen unter dem Grundwasserspiegel ausgeführt, so muß der Fußhohlraum bis zum Betonieren durch Flüssigkeitsüberdruck in der Bohrung gestützt werden.

Die Grenzen des Verhältnisses von Pfahlfuß- zu Pfahlschaftdurchmesser sind nach Bild 1 einzuhalten. Abweichungen sind zulässig, wenn die Herstellbarkeit größerer Pfahlfußverbreiterungen nachgewiesen wird.

Das Verhältnis der Fußhöhe zum Fußüberstand darf in nichtbindigen Böden nicht kleiner als 3 : 1 und in bindigen Böden nicht kleiner als 2 : 1 sein.

6.2.6 Überprüfen der Baugrunderkundung

Die Ergebnisse der Baugrunderkundung sind bezüglich der Schichtenfolge während der Pfahlbohrungen – beim Bohren mit durchgehender Bohrschnecke nach der Pfahlbohrung – insbesondere im Bereich der tragfähigen Schichten, zu überprüfen und die Schichtenverzeichnisse der Pfahlbohrungen in die Pfahlprotokolle aufzunehmen (siehe Anhang A). Entstehen Zweifel über die Beschaffenheit des Baugrunds, so sind zusätzliche Baugrunderkundungen zu veranlassen.

Für jeden Bohrpfahl sind die Einbindetiefe in die tragfähige Schicht und der Wasserstand in der Bohrung unmittelbar vor dem Betonieren festzuhalten.

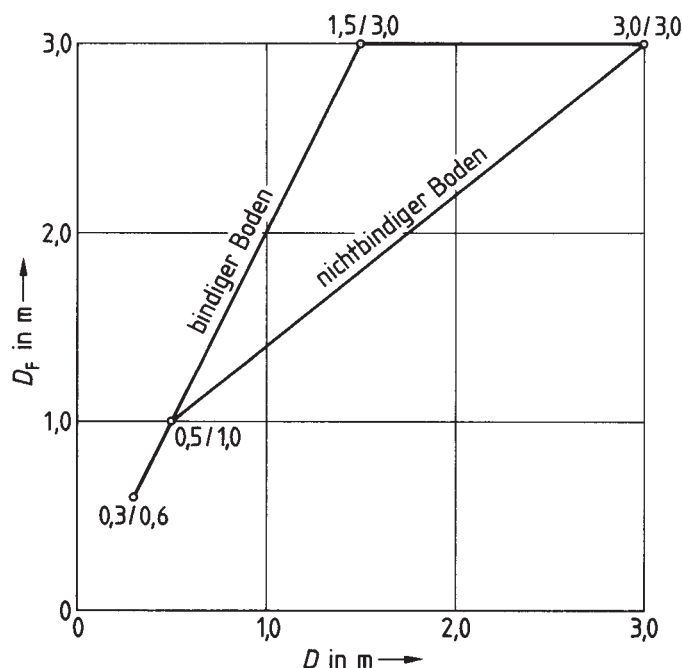


Bild 1. Beschränkung der Pfahlfußverbreiterung im bindigen und im nichtbindigen Boden

6.3 Betonarbeiten

6.3.1 Allgemeines

Für das Herstellen und Einbringen des Betons gilt DIN 1045, sofern im folgenden nichts anderes festgelegt ist. Hinsichtlich der Betonzusammensetzung ist Abschnitt 5.3 zu beachten.

6.3.2 Güteprüfung

Abweichend von DIN 1045 sind von dem Beton der ersten zehn Pfähle eines Bauvorhabens mindestens sechs Probewürfel nach DIN 1048 Teil 1 anzufertigen und zu prüfen, wovon drei nach 7 Tagen und drei nach 28 Tagen geprüft werden sollen. Für jeweils weitere 25 Pfähle, mindestens jedoch je 500 m^3 Frischbeton, sind weitere drei Probewürfel auf ihre 28-Tage-Würfeldruckfestigkeit zu prüfen. Die Prüfzeiten für langsam erhärtende Zemente dürfen bis zu 56 Tagen verlängert werden. Bei Verwendung von B II ist die Anzahl der Probewürfel zu verdoppeln.

6.3.3 Einbringen des Betons

Unmittelbar nach Abschluß des Bohrvorgangs, Säubern der Bohrungssohle und gegebenenfalls Einsetzen des Bewehrungskorbs ist der Pfahl zu betonieren. Dabei ist sicherzustellen, daß

- a) der Beton in der vorgesehenen Zusammensetzung und Konsistenz bis zur Bohrungssohle gelangt,
- b) der Beton nicht entmischt und verunreinigt wird,
- c) die Betonsäule weder unterbrochen noch eingeschnürt wird.

Dabei dürfen lotrecht, verrohrt oder mit durchgehender Bohrschnecke hergestellte Bohrungen, in denen kein Wasser steht, unter Zuhilfenahme eines Schütttrichters mit einem anschließenden, mindestens 2 m langen Schüttrohr ausbetoniert werden. Es muß dabei sichergestellt sein, daß dieses Schüttrohr während des Betoniervorgangs seine lotrechte Lage in der Bohrung behält.

In allen anderen Fällen ist mit Schüttrohr, Pumprohr oder Schläuchen zu betonieren, die zu Beginn des Betoniervorgangs bis zur Bohrungssohle reichen und während des Betonierens stets in den Frischbeton eintauchen müssen. Im Grundwasser bzw. in einer Tonsuspension muß der Beton im Kontraktorverfahren eingebracht werden. Beim Einschütten des Betons ist eine Vermischung von Beton und Tonsuspension zu verhindern. Das Schüttrohr darf beim Betonieren erst gezogen werden, wenn es mindestens 3 m in den eingebauten Beton hineinreicht, damit die Betonsäule nicht abreißt und keine Stützflüssigkeit in das Schüttrohr eindringt.

Die Herstellung eines Unterwasserbetons aus einer Zuschlagschüttung mit nachträglicher Vermörtelung nach DIN 1045 ist zulässig, sofern das Korngerüst der Zuschlagschüttung nicht durch eindringende Bodenteilchen verunreinigt werden kann.

Werden Bohrpfähle mit einer auf ganzer Länge der Bohrung durchgehenden Bohrschnecke mit kleinem Zentralrohr hergestellt, so wird nach Erreichen der Endtiefe bei gleichzeitigem Ziehen der Bohrschnecke Beton durch das Zentralrohr der Bohrschnecke gepumpt. Der am Fuß der Bohrschnecke austretende Beton muß dabei unter einem Überdruck stehen, der sicherstellt, daß der beim Ziehen der Bohrschnecke freigegebene Raum sofort mit Frischbeton verfüllt wird. Zur Erfüllung dieser Bedingung ist durch Messung zu kontrollieren und tiefenabhängig in einem Meßschieb festzuhalten, daß am Übergang von der Betonpumpenleitung in die Bohrschnecke ständig ein Überdruck vorhanden ist.

In feinkörnigen Böden mit einer Kohäsion im undrained Zustand $c_u \leq 15 \text{ kN/m}^2$ ist Betonieren gegen den Boden nicht mehr zulässig; der Frischbeton muß durch Hülsen gestützt werden. Statt des Nachweises $c_u > 15 \text{ kN/m}^2$ genügt auch der Nachweis, daß die Konsistenzzahl $I_C > 0,25$ ist.

Die Bohrpfähle sind zügig ohne Unterbrechung zu betonieren.

Anmerkung: Um nachteilige Einflüsse einer im Ausnahmefall eintretenden kürzeren Unterbrechung des Betoniervorgangs auszuschalten, sollen Erstarrungsverzögerer als Zusatzmittel verwendet werden.

Beim Betonieren von Bohrpfählen mit Pfahlfußverbreiterung muß der Frischbetonvorrat das Füllen des Pfahlfußes bis in den Schaft hinein ohne Arbeitspause gestatten.

6.3.4 Betonkonsistenz

Für Bohrpfähle ist im Regelfall ein Beton von fließfähiger Konsistenz, d.h. mit einem Ausbreitmaß von 50 cm bis 60 cm, zu verwenden, jedoch abweichend von DIN 1045 ohne Zugabe eines Fließmittels. Fließfähiger Beton der Konsistenz KF nach DIN 1045 ist zulässig, jedoch ist hierbei

besonders die Verarbeitbarkeit des Frischbetons im Hinblick auf die Betonierzeit des Bohrpfahls zu beachten.

Beim Betonieren in einer Tonsuspension ist ein Ausbreitmaß zwischen 55 cm und 60 cm zu wählen. In diesen Konsistenzbereichen ist Innenrüttelung nicht zulässig.

6.3.5 Unterwasserbeton

Abweichend von DIN 1045 darf auch der im Kontraktorverfahren, siehe DIN 4126/08.86, Abschnitt 3.2, eingebrachte Beton unter den Bedingungen für die Herstellung von Beton B I hergestellt werden.

6.3.6 Ziehen der Bohrröhre

Beim Ziehen der Bohrröhre ist darauf zu achten, daß die Betonsäule weder abreißt noch eingeschnürt wird. Die Frischbetonsäule muß so hoch in das Bohrröhr hinaufreichen, daß ein ausreichender Überdruck des Betons gegen Grundwasser und seitlich nachdringenden Boden vorhanden ist. Der Überdruck reicht aus, wenn nachgewiesen werden kann, daß Gleichgewicht zwischen den horizontalen Drücken für den ebenen Fall besteht. Das gilt auch für Pfähle, die mit durchgehender Bohrschnecke mit großem Zentralrohr gebohrt werden.

6.3.7 Herrichten der Pfahlköpfe

In einer oberen Zone bis etwa 0,5 m unter der Betonoberfläche kann der Beton von unzureichender Festigkeit sein. Diese Zone ist dann nach dem Freilegen der Pfahlköpfe zu entfernen. Gegebenenfalls sind Bohrpfähle nach oben zu verlängern, damit nach dem Kappen einwandfreier Beton über die Solllänge vorhanden ist.

6.4 Bewehrungsarbeiten

6.4.1 Allgemeines

Für Verarbeitung und Einbau des Bewehrungsstahls gilt DIN 1045, sofern im folgenden nichts anderes festgelegt ist.

6.4.2 Ausbildung des Bewehrungskorbs

Der Bewehrungskorb ist so auszusteifen und aufzuhängen, daß er beim Transport, beim Einbau und beim Betonieren nicht bleibend deformiert wird. Die Bewehrung ist vor und nach dem Betonieren am Pfahlkopf auf Abweichungen von der Sollage zu kontrollieren, und das Ergebnis ist in den Mustervordruck für das Herstellen von Bohrpfählen (nach Anhang A) einzutragen.

Sofern eine Betondeckung von 5 cm nicht bereits durch die Wanddicke der Bohrröhre zustande kommt, sind Abstandhalter anzuordnen. Bei unverrohrten Bohrungen müssen großflächige Abstandhalter verwendet werden, deren Form sicherstellt, daß beim Einführen der Bewehrung in die Bohrung kein Nachbruch aus der Bohrungswand verursacht wird.

Um sicherzustellen, daß der Bewehrungskorb beim Betonieren und beim Ziehen des Bohrröhrs in seiner vorgesehenen Lage bleibt, ist z. B. der Einbau eines Kreuzes aus Flachstahl am unteren Ende der Bewehrung erforderlich.

Die nachträgliche Einführung der Bewehrung, gegebenenfalls mit Unterstützung durch leichte Vibration, ist zulässig, wenn die Betonüberdeckung und die planmäßige Lage der Bewehrung sichergestellt werden. Der Bewehrungskorb ist in diesem Fall unmittelbar nach dem Betonieren einzuführen.

Anmerkung: Das nachträgliche Einbringen der Bewehrung wird im allgemeinen nur bei Bohrpfählen angewandt, die mit durchgehender Bohrschnecke mit kleinem Zentralrohr hergestellt werden.

Beim Einbringen von Beton mit einem Größtkorn von 32 mm Durchmesser in eine mit Tonsuspension gestützte Bohrung ist ein lichter Mindestabstand der Längsbewehrung

rungsstäbe von 70 mm bei einer dynamischen Fließgrenze von 10 N/m^2 bzw. von 90 mm bei 30 N/m^2 vorzusehen. Zwischenwerte sind linear zu interpolieren. Bei Beton mit Größtkorn der Zuschlagstoffe von 16 mm darf der lichte Abstand auf 50 mm verringert werden.

Zusätzlich zu der Anforderung nach DIN 1045 ist ein lichter Mindestabstand der Bewehrungsstäbe vom 2fachen Größtkorndurchmesser der Zuschlagstoffe einzuhalten.

7 Ermittlung des äußeren Tragverhaltens in nichtbindigen und bindigen Böden

7.1 Axialer Widerstand von Druckpfählen

7.1.1 Allgemeines

Die Widerstandsetzungslinie für Druckpfähle soll aufgrund von Probelastungen (siehe DIN 1054) ermittelt werden. Sie darf auch auf der Grundlage von Erfahrungen mit anderen, unter vergleichbaren Verhältnissen durchgeführten Probelastungen festgelegt werden.

Soweit solche Erfahrungen nicht vorliegen und keine Probelastungen ausgeführt werden, darf die Widerstandsetzungslinie eines Einzelpfahls beim Vorliegen einfacher Bodenverhältnisse mit den Werten nach den Tabellen 1, 2, 4 und 5 nach Abschnitt 7.1.4 ermittelt werden.

Als einfache Bodenverhältnisse nach DIN 1054 werden hier solche definiert, für welche die Festigkeit in nichtbindigen Böden durch den Sondierspitzenwiderstand q_s in bindigen Böden durch die Kohäsion im undrännierten Zustand c_u hinreichend genau festgelegt werden kann.

Es wird vorausgesetzt, daß die Mächtigkeit der tragfähigen Schicht unterhalb der Pfahlohle drei Pfahlfußdurchmesser, mindestens aber 1,5 m beträgt. Wenn die genannten Werte unterschritten werden, ist ein Nachweis gegen Durchstanzen zu führen. Außerdem ist nachzuweisen, daß der darunter liegende Boden das Setzungsverhalten nicht beeinträchtigt.

Anmerkung: Als Eingangswerte für den Sondierspitzenwiderstand q_s nach den Tabellen 1 und 4 sind Mittelwerte über eindeutige Tiefenbereiche zu verwenden. Es wird bewußt darauf verzichtet, diesbezüglich Festlegungen zu treffen, um es dem Anwender zu gestatten, z. B. scharfe Rückgänge des Sondierspitzenwiderstands unmittelbar unter dem Pfahlfuß stärker zu berücksichtigen als entsprechende Rückgänge im Pfahlschaftbereich.

Die Werte in den Tabellen 1, 2, 4 und 5 sind Erfahrungswerte im Sinne von DIN 1054. Sie stammen aus einer Vielzahl von Probelastungen verrohrt (V) und unverrohrt (U) unter Verwendung einer Stützflüssigkeit hergestellten Bohrpfehlen und gelten als charakteristische Werte für diese Fälle. Sie werden nur in ungünstigen Fällen unterschritten.

7.1.2 Spitzenwiderstand des Einzelpfahls in Abhängigkeit von den Setzungen nach den Tabellen 1 und 2

Die Angaben gelten für normgerecht hergestellte Bohrpfehle, die mindestens 2,5 m in eine tragfähige Schicht einbinden.

Bei nichtbindigen Böden nach DIN 1054/11.76, Abschnitt 2.1.1.1, ist diese Bedingung durch Sondierungen nachzuweisen. Vorzugsweise ist dafür die Spitzendrucksonde nach DIN 4094 (z. Z. Entwurf) zu verwenden, mit der ein Sondierspitzenwiderstand $q_s \geq 10 \text{ MN/m}^2$ in dem Tiefenbereich nachgewiesen werden muß, der im Abschnitt 7.1.1 für die erforderliche Mächtigkeit der tragfähigen Schicht unter dem Bohrpfehl angegeben ist.

Anmerkung: Wenn die Spitzendrucksonde nicht eingesetzt wird (z. B. in zu grobkörnigem Boden), aber Ramm-

sonden verwendet werden können, sollte die Möglichkeit einer Umrechnung der Ergebnisse von Rammsondierungen in Drucksondiererergebnisse geprüft werden. Für die schwere Rammsonde DPH nach DIN 4094 (z. Z. Entwurf) darf in grobkörnigen Böden nach DIN 18 196 mit weniger als 10 % Körnern größer als 20 mm Durchmesser näherungsweise angenommen werden:

$$q_s \approx N_{10}$$

mit q_s in MN/m^2

N_{10} Schläge je 10 cm Eindringung der DPH

Sofern für andere bzw. nicht sondierfähige Böden örtliche Erfahrungen vorliegen, darf die Erfüllung der Bedingungen $q_s \geq 10 \text{ MN/m}^2$ auf deren Grundlage beurteilt werden.

Bei der Ermittlung der Widerstandsetzungslinie für $Q_s(s)$ aus Spitzenwiderstand nach Gleichung (8) ist bei Verwendung der Werte der Tabellen 1 und 2 den dort angegebenen bezogenen Pfahlkopfssetzungen 1 cm zuzuschlagen, falls mit Reißzähnen oder ähnlicher Ausrüstung versehene Bohrerwerkzeuge verwendet werden und dadurch verursachte Auflockerungen unter der Bohrlochsohle nicht beseitigt werden (siehe auch Abschnitt 6.2.1).

Tabelle 1. **Pfahlspitzenwiderstand σ_s in MN/m^2 in Abhängigkeit von der auf den Pfahl(fuß)durchmesser bezogenen Pfahlkopfssetzung s/D bzw. s/D_F und dem mittleren Sondierspitzenwiderstand in nichtbindigen Böden**

bezogene Pfahlkopfssetzung s/D bzw. s/D_F	Pfahlspitzenwiderstand σ_s MN/m^2 *)			
	bei einem mittleren Sondierspitzenwiderstand q_s MN/m^2			
	10	15	20	25
0,02	0,7	1,05	1,4	1,75
0,03	0,9	1,35	1,8	2,25
0,10 = s_g	2,0	3,0	3,5	4,0

*) Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Bei Bohrpfehlen mit Fußverbreiterung sind die Werte auf 75 % abzumindern.

Tabelle 2. **Pfahlspitzenwiderstand σ_s in Abhängigkeit von der auf den Pfahl(fuß)durchmesser bezogenen Pfahlkopfssetzung s/D bzw. s/D_F in bindigen Böden**

bezogene Pfahlkopfssetzung s/D bzw. s/D_F	Pfahlspitzenwiderstand σ_s MN/m^2 *)	
	bei einer Kohäsion im undrännierten Zustand c_u MN/m^2	
	0,1	0,2
0,02	0,35	0,9
0,03	0,45	1,1
0,10 = s_g	0,8	1,5

*) Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden. Bei Bohrpfehlen mit Fußverbreiterung sind die Werte auf 75 % abzumindern.

Voraussetzung für die Anwendung des in Tabelle 2 angegebenen Pfahlspitzenwiderstands ist eine Fließgrenze $w_L < 80$ % (siehe DIN 18 122 Teil 1). Als Eingangswerte nach Tabelle 2 wird die Kohäsion im undrännierten Zustand c_u des