

Jörn M. Seitz / Heinz Günter Schmidt

Bohrpfähle

- **Hilfestellung bei Berechnung und Bemessung**
- **praxisnahe Hinweise zur Ausführung**
- **unveränderter Nachdruck der 1. Auflage von 2000**

Der unveränderte Nachdruck des Buches aus dem Jahr 2000 enthält eine umfassende Darstellung aller bei Planung und Bauausführung von Bohrpfahlgründungen zu beachtenden Aspekte einschließlich Schadensfälle, Sanierungen und zahlreiche Musterprojekte.



2021 · 496 Seiten

Hardcover

ISBN 978-3-433-03370-8

€ 69*

ÜBER DAS BUCH

Viele Bauwerke können nur durch den Einsatz von Bohrpfählen sicher gegründet werden. Mit Bohrpfählen werden tragfähige Bodenschichten erreicht und große Setzungen ausgeschlossen. In dem unveränderte Nachdruck des Buches aus dem Jahr 2000 wird die Bohrpfahlgründung umfassend erläutert. Der Beschreibung verschiedenster Pfahltypen, ihrer Herstellung und Verwendung folgen wichtige Hinweise zur Planung und Ausführung von Bohrpfahlgründungen. Bohrverfahren mit unterschiedlichen Rohrtypen und Bohrwerkzeugen werden vorgestellt. Konstruktionsdetails und Bewehrungshinweise ergänzen den Abschnitt zur Bemessung der Pfähle. Möglichkeiten zur Verbesserung der Tragfähigkeit des Baugrundes werden erläutert und Mess- und Prüfeinrichtungen für Probelastungen in einem separaten Kapitel behandelt. Beispiele zu Schadensfällen mit Rechtsurteilen, Sanierungen und die Beschreibung zahlreicher Musterprojekte runden das Buch ab.

Zu empfehlen ist es allen Bauingenieuren, die sich mit Gründungsproblemen befassen.

BESTELLUNG

Anzahl	ISBN /	Titel	Preis
	978-3-433-03370-8	Bohrpfähle	€ 69*

BESTELLEN

+49 (0)30 470 31-236

marketing@ernst-und-sohn.de

www.ernst-und-sohn.de/3370

	Privat	Geschäftlich
Bitte richten Sie Ihre Bestellung an:	_____	_____
Tel. +49 (0)30 47031-236	Firma, Abteilung	UST-ID Nr.
Fax +49 (0)30 47031-240	_____	_____
marketing@ernst-und-sohn.de	Name, Vorname	Telefon
108208 Free Shipping	_____	_____
	Straße, Nr.	_____
	_____	_____
	PLZ/Ort/Land	E-Mail
	_____	_____
www.ernst-und-sohn.de/3370	Datum/Unterschrift	

Vorwort

Pfähle gehören zu den wichtigsten Gründungsarten. Die Entwicklung vom Bohrpfahl zum Großbohrpfahl mit den Innovationen bei den Herstellungsverfahren und Geräten führte dazu, daß heute immer größere Pfahl-tiefen und -durchmesser erreicht werden können. Damit nimmt auch die Intensität der Baugrundnutzung zu. Die Bedeutung der Pfahlgründungen spiegelt sich auch in der Vielzahl von Pfahlssystemen auf dem Baumarkt wider.

Die Vielfalt und der Stellenwert von Pfahlgründungen – insbesondere mit Großbohrpfählen – für Hoch-, Industrie- und Tiefbau sowie für Verkehrs- und Wasserbauten sind bemerkenswert. Mit Hilfe von Pfählen werden Bauwerkslasten auf oder in tiefliegende Schichten abgetragen. Die modernen Großbauten stellen den Bauingenieur vor die Aufgabe, immer größere, konzentrierte Lasten ohne schädliche Setzungen auf/in den Baugrund abtragen zu müssen. Dazu sind stark mechanisierte Herstellungsverfahren entwickelt worden, die dieser Forderung Rechnung tragen.

Wirtschaftliche Überlegungen führen dazu, daß in zunehmendem Maße für konzentrierte Lasten Pfahlgründungen auch dort zur Anwendung kommen, wo früher eine Flachgründung gewählt wurde. Damit können Umspondungen und Wasserhaltungen vermieden, Beton für Fundamente gespart sowie Konstruktion und Bauablauf vereinfacht werden.

Pfähle und Pfahlgründungen zu entwerfen und herzustellen erfordert umfangreiche Kenntnisse. So ist die Auswahl des geeigneten Pfahltyps und der Methode für den Einbau bei dem vorhandenen Baugrund und der Art der Lastaufbringung von großer Bedeutung. Um das Verhalten des Pfahles vorherzusagen, sobald er in dem Untergrund „steht, hängt oder sitzt“ und belastet wird, ist Ingenieurwissen und viel Erfahrung gefragt. Das Tragverhalten ist vorrangig beeinflußt durch die Methode der Herstellung und kann nicht alleine aus den physikalischen Eigenschaften des Pfahles und des ungestörten Bodens vorhergesagt werden. Die Kenntnis von dem Pfahltyp und seiner Herstellart ist ausschlaggebend für ein gründliches Verstehen seiner Wechselwirkung mit dem Baugrund; nur so können realistische Theorien über sein Tragverhalten aufgestellt werden.

Das Buch enthält eine Zusammenstellung der wichtigsten – fast aller – Gesichtspunkte, die für diese Thematik und deren Beurteilung erforderlich sind.

Die Autoren schätzen sich in der glücklichen Lage, über einen langen Zeitraum die Pfahlentwicklung begleitet und auch teilweise an der Entstehungsgeschichte der Großbohrpfähle mitgewirkt zu haben. Dazu hat ihre Tätigkeit im Hause der Firma Bilfinger+Berger Bauaktiengesellschaft, Mannheim, wesentlich beigetragen. Auch gilt hier der Dank den zahlreichen Kollegen, mit denen die Autoren über viele Jahre hinweg zusammengearbeitet haben.

Von der Fa. Bilfinger+Berger sind im Laufe der vergangenen Jahrzehnte herausragende Pfahlgründungen hergestellt worden. In den geschichtlichen Dokumenten des Unternehmens finden wir einen Bericht aus dem Jahr 1933 über die Entwicklung eines eigenen Systems zur Herstellung von Ortbetonpfählen, durch das „die Nachlässigkeit und Unachtsamkeit der Arbeiter in höchstmöglichem Maße ausgeschaltet und die bei anderen Systemen so gefährlichen Einbrüche von Schlamm ausgeschlossen“ werden sollen. Ihre bisherige Krönung fand diese Entwicklung dann im Jahr 1998 mit den Gründungsarbeiten der My Thuan Bridge über den Mekongfluß in Vietnam: mit Bohrtiefen von ca. 100 m und Durchmessern bis zu 2,50 m wurde eine neue Dimension aufgezeigt. Dazu gehört natürlich eine erfahrene und verlässliche Truppe – bis hin zum „letzten Mann“.

Bohrpfähle sind als eigenständiges Thema bisher nicht umfassend in der deutschen Literatur behandelt worden. So war es der Wunsch der Autoren, den derzeitigen Stand der Theorie und Praxis zusammen mit den eigenen Erfahrungen festzuschreiben.

Dieses Buch ist sowohl als Hilfe für den Entwurf wie auch für die Ausführung gedacht. Es soll Ingenieurbüros, Behörden, Studenten und auch den Praktikern dazu dienen, ihr Wissen abzurunden.

Aus der weltweiten Tätigkeit der großen Fachfirmen im Spezialtiefbau, der Zusammenarbeit der Pfahlspezialisten im Rahmen der europäischen Normung und den eigenen Erfahrungen – vor allem bei den Gründungsarbeiten der weltweit größten Schrägkabelbrücke Pont de Normandie – kamen Anregungen für dieses Werk. In anderen Sprachen gibt es wenig Vergleichbares, und wenn es so etwas gibt, dann sind die beiden Teile der Theorie und Praxis ungleich behandelt.

Die zahlreichen Veröffentlichungen weltweit zeigen, daß die Berechnung, Bemessung und Herstellung von Pfählen und die daraus folgenden Gründungen mit der Bewertung des Baugrundes, der Gerätetechnik und der Interpretation von Versuchsergebnissen auf landestypischen Philosophien beruhen. Dieses Buch berücksichtigt diese Besonderheiten, faßt auch internationale Erfahrungen zusammen.

Der handwerklichen Herstellung von Pfählen wird immer weniger Beachtung geschenkt. Vieles ist bei diesen Arbeiten zur Selbstverständlichkeit geworden. Dieses Buch enthält umfangreiche Details hierzu und erläutert auch die speziellen Besonderheiten. Die Entwicklung auf dem Gebiet der Werkzeug- und Gerätetechnik geht weiter; grundlegend neue Entwicklungen sind zur Zeit nicht in Sicht.

Die Grund- bzw. Spezialtiefbauer oder auch Geotechniker leiden darunter, daß das Ergebnis ihrer Arbeit oft in dem Bauwerk oder Baugrund verschwindet, zugleich bleibt aber die Pfahlgründung ein lebenslanger Bestandteil des Bauwerkes. Sie sind die heimlichen Architekten des Untergrundes und wichtige Garanten der Sicherheit des Bauwerkes und seiner Nutzer.

Einen besonderen Dank für die Mitarbeit an Herrn Dipl.-Ing. Heinrich Borsy, Weinheim, der in mühevoller Kleinarbeit über viele Jahre hinweg viele der Details erarbeitet und so dem Handbuch auch seinen Stempel aufgedrückt hat.

Mannheim, im Januar 2000

Jörn M. Seitz
Heinz-Günter Schmidt

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	V
Inhaltsverzeichnis	VII
1 Vom Rammpfahl zum Großbohrpfahl	1
1.1 Warum Pfahlgründungen?	1
1.2 Rammpfähle	1
1.3 Historischer Bohrfpfahl	5
1.4 Beispiele der Neuzeit	7
2 Pfahltypen	11
2.1 Verwendungshäufigkeit verschiedener Pfahltypen	11
2.2 Vorgefertigter Rammpfahl	14
2.3 Ortbeton-Rammpfahl	14
2.4 Verpreßpfahl	15
2.5 Schraubbohrpfahl	17
2.6 Großbohrpfähle	18
2.7 Bohrfpfähle herkömmlicher Bauart	23
2.8 Verpreßpfähle mit kleinem Durchmesser	24
2.9 Sonderpfähle	27
2.10 Vor- und Nachteile bei der Herstellung von Bohrfpfählen und Verdrängungspfählen	28
3 Was kann der Großbohrpfahl?	31
3.1 Verwendung von Bohrfpfählen	31
3.2 Einzelpfähle	31
3.3 Pfahlgruppen	41
3.4 Stützkonstruktionen	49
3.5 Sonderfälle	56
4 Planungs- und Ausführungsunterlagen für Bohrfpfahlgründungen	65
4.1 Grundsätze der Ausschreibung	65
4.2 Anforderungen	66
4.3 Baugrunderkundung und Machbarkeit	67
4.4 Örtlichkeiten	69
4.5 Pfahlanordnung	70
4.6 Anhaltswerte für die Tragfähigkeit	71
4.7 Probelastungen	72
4.8 Anhaltswerte zu den Kosten von Bohrfpfählen	72
4.9 Arbeitsvorbereitung	73
4.10 Baustelleneinrichtung	74
4.11 Baulärm	76
5 Berechnungen von Bohrfpfahlgründungen	77
5.1 Äußere Tragfähigkeit unter axialer Belastung	77
5.2 Äußere Tragfähigkeit bei einer Belastung quer zur Pfahlachse	102
5.3 Gruppenwirkung	115
5.4 Belastung der Pfähle durch den Baugrund	124
5.5 Innere Tragfähigkeit, Bemessung	131

6	Herstellen des Bohrloches für Großbohrpfähle	133
6.1	Grundlagen	133
6.2	Die Grundprinzipien des Bohrens	135
6.3	Bohrverfahren	141
6.4	Die Bohranlage	190
6.5	Bohrwerkzeuge und Geräte	215
6.6	Zubehör	254
6.7	Hinweise für die Ausführung	259
7	Verwendung des Bohrloches	295
7.1	Bewehrung für den Stahlbetonpfahl	295
7.2	Beton für Großbohrpfähle	316
7.3	Betonieren	335
7.4	Einbau von Stahlträgern	351
7.5	Einbau von Fertigteilen	353
8	Verbesserung der Tragfähigkeit	357
8.1	Verbesserung des Baugrundes vor der Pfahlherstellung	357
8.2	Maßnahmen während der Pfahlherstellung	361
8.3	Verbesserung der Lastübertragung nach der Herstellung des Pfahles	369
9	Prüfungen	381
9.1	Allgemeines	381
9.2	Prüfen der Tragfähigkeit	381
9.3	Prüfen des Pfahlschaftes (Integritätsprüfung)	405
10	Schadensfälle an Pfählen	419
10.1	Schadensursachen	419
10.2	Fehlerquellen	419
10.3	Fehler an Pfählen	422
10.4	Fehler ist nicht gleich Fehler	425
10.5	Vermeiden von Fehlern	426
10.6	Sanieren	427
10.7	Beispiele von Schadensfällen	432
11	Sonderfälle der Anwendung	449
11.1	Allgemeines	449
11.2	Die Essener Dichtlamelle	449
11.3	Baufeldfreimachung am Reichstag in Berlin	451
11.4	Hochhausgründungen	453
11.5	Dichtungswand aus Bohrpfählen	455
11.6	Ungewöhnlicher Großversuch	457
11.7	Gründung der My Thuan Brücke	458
12	Entwicklung und Forschung	461
12.1	Allgemeine Feststellung	461
12.2	Arbeiten an Hochschulinstituten	461
12.3	Tagungen speziell über Pfähle	462
13	Der Beruf des Pfahlbauers	463
13.1	Die Bohrmannschaft	463
13.2	Der Bauleiter	464

13.3	Der Polier	466
13.4	Der Geräteführer	466
13.5	Der Bohrhelfer	467
14	Maßgebliche Normen	469
14.1	Nationale Normen	469
14.2	Neue Entwicklungen	469
14.3	Zukünftige Pfahlnormen	470
15	Literatur	471
15.1	Geltende Vorschriften	471
15.2	Zitierte Literatur	471
15.3	Weitere Literatur	475
15.4	Sonstiges	481
Register	483

Hierin bedeuten:

$E \cdot J$	Biegesteifigkeit des Bohrpfahls
n_{hE}	Bettungsmodul des Einzelpfahls in der Tiefe $z = D$
n_{hi}	Bettungsmodul des Bohrpfahls in der Gruppe in der Tiefe $z = D$
l	Länge des Bohrpfahls

- b) Bei über die Tiefe konstantem Bettungsmodul (als obere Grenze für Pfähle in überkonsolidierten bindigen Bodenarten)

$$k_s(z) = k_s = \text{const}$$

gilt mit der elastischen Länge L des Einzelpfahls und dem Bettungsmodul des Einzelpfahls k_{sE}

$$L = (E \cdot J / k_{sE} \cdot D)^{0,25} \quad (5-28)$$

$$\text{für } l/L \geq 4: k_{si} = \alpha_i^{1,33} \cdot k_{sE} \quad (5-29)$$

$$l/L \leq 2: k_{si} = \alpha_i \cdot k_{sE} \quad (5-30)$$

Für Werte $4 > l/L > 2$ darf linear interpoliert werden.

Die Gleichungen Gl. (5-24) bis (5-30) gelten für gelenkig an eine Pfahlkopfplatte angeschlossene Pfähle und für teilweise oder voll in eine Pfahlkopfplatte eingespannte Pfähle.

5.4 Belastung der Pfähle durch den Baugrund

5.4.0 Einführung

Normalerweise bewegen sich die Pfähle infolge einer Bauwerkslast gegenüber dem umgebenden Baugrund und mobilisieren dadurch stützende Bodenreaktionen. Es gibt aber Fälle, in denen sich der umgebende Boden stärker verschiebt als der eingebettete Pfahl, so daß dieser durch den Boden zusätzlich belastet wird, statt gestützt zu werden.

5.4.1 Negative Mantelreibung

Negative, d. h. den Pfahl nicht stützende, sondern belastende Mantelreibung tritt dort auf, wo der Boden sich stärker nach unten bewegt als der Pfahl. Das kommt beispielsweise vor bei:

- weichen, bindigen Böden, die unter ihrem eigenen Gewicht noch nicht konsolidiert sind
- organischen Böden wie Torf, die durch Zersetzung zusammensacken
- lockeren, nichtbindigen Böden, die sich infolge von Erschütterungen verdichten und dabei setzen
- stärker zusammendrückbaren Böden, die einer zusätzlichen Belastung ausgesetzt werden, beispielsweise durch eine Grundwasserabsenkung oder durch eine Auflast

Bild 5.4-1 zeigt die Setzungen unter dem Anschlußdamm für ein Brückenwiderlager. In solchen Fällen wird man versuchen, durch eine Vorschüttung mit ausreichender Liegezeit die Setzungen vorwegzunehmen, bevor die Pfähle hergestellt werden.

In zusammendrückbaren Schichten ist auch die Mantelreibung gering und wird meist mit 10 bis 20 kN/m² angesetzt. Besonders ungünstig ist der Fall, daß tragfähige Schichten mit großer Mantelreibung über Weichschichten liegen und mit ihnen nach unten sacken. Durch den Einbau einer Folie, die den Bewehrungskorb umschließt und für den Pfahlbeton als Schalung wirkt [15], kann in solchen Schichten die negative Mantelreibung reduziert werden (siehe auch Abschnitt 3.2.4).

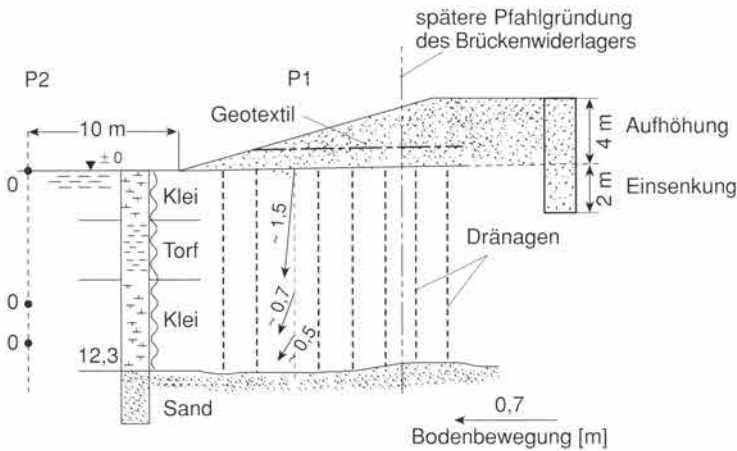


Bild 5.4-1
Setzung eines Dammuntergrundes aus Klei und Torf nach [50]

Auch aus gutem Material geschüttete und verdichtete Dämme können sich nach der Pfahlherstellung noch erheblich setzen, wenn das Widerlager und die nachträgliche Aufschüttung relativ hoch sind (siehe Bild 5.4-2) [51].

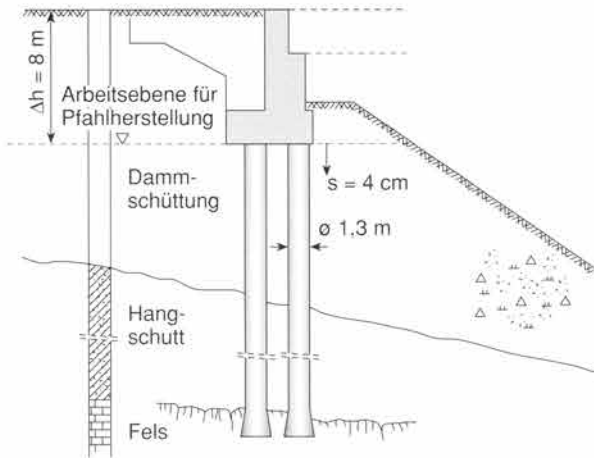
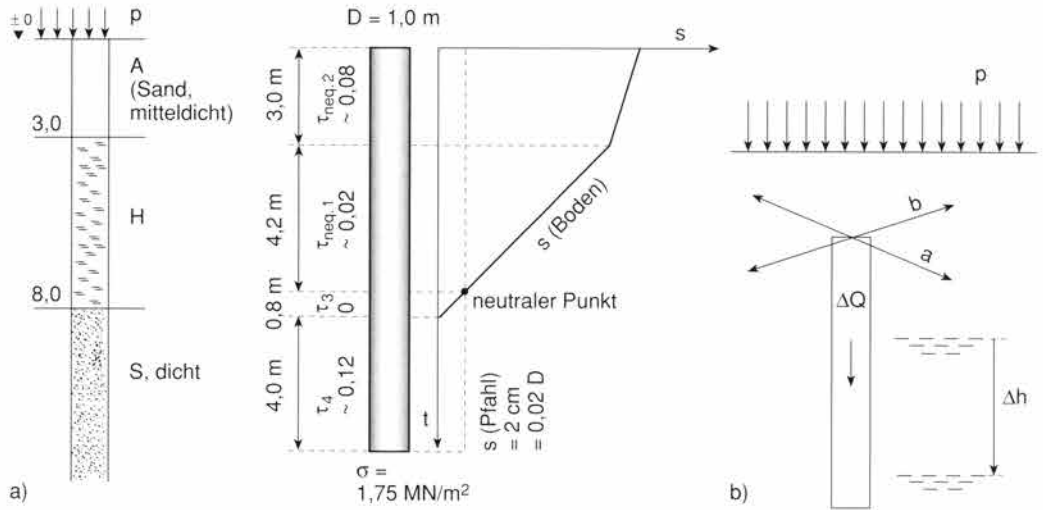


Bild 5.4-2
Setzung einer Dammschüttung aus Sand, Steinen und Schluff [51]

Negative Mantelreibung wirkt bis zu der Tiefe, wo die Setzung des Pfahles und die des angrenzenden Bodens gleich groß sind. Dieser „neutrale Punkt“ muß durch Abschätzung der Setzungen ermittelt werden (Bild 5.4-3a).

Bei einer ausgedehnten Pfahlgruppe kann die Zusatzlast eines Pfahles aus negativer Mantelreibung nicht größer werden als die Auflast, welche die Zusammendrückung des nachgiebigen Bodens auslöst (Bild 5.4-3b).



GZ2

$$R = 4 \cdot 3,14 \cdot 0,12 + 0,79 \cdot 1,75 = 1,51 + 1,38 = 2,89 \text{ MN}$$

$$S_1 (\tau_{neg}) = 3,14 \cdot (3 \cdot 0,08 + 4,2 \cdot 0,02) = 0,75 + 0,26 = 1,01 \text{ MN}$$

Für das Bauwerk nutzbare Pfahllast

$$S_2 (\text{Bauwerk}) = R - S_1 = 1,88 \text{ MN}$$

Pfahlabstände a, b

a) Grundwasserabsenkung Δh

$$\Delta Q \leq a \cdot b \cdot \Delta h (\gamma - \gamma') \quad (5-31)$$

b) Auflast p

$$\Delta Q \leq a \cdot b \cdot p \quad (5-32)$$

Bild 5.4-3

Berücksichtigung von negativer Mantelreibung

a) Ermittlung der nutzbaren Pfahlbelastung

b) obere Grenzwerte für die Zusatzlast bei Grundwasserabsenkung bzw. Auflast

5.4.2 Seitendruck

Bei Pfählen unter horizontaler Belastung wird unterschieden in:

- aktive Pfähle, die planmäßig Horizontallasten aus dem Bauwerk auf den Baugrund übertragen (siehe Abschnitt 5.2) und in
- passive Pfähle, die durch die Bewegung weicher bindiger Böden, beispielsweise unter einseitiger Auflast, mehr oder weniger unplanmäßig belastet werden

Ein Beispiel zeigt Bild 5.4-4a. An der Kranbahn eines Erzlagers waren große Verschiebungen aufgetreten. Zur Erkundung der Vorgänge wurde ein instrumentierter Stahlpfahl gerammt und beobachtet (Bild 5.4-4b). Nach drei Jahren war der Pfahl unter der Wirkung des Seitendrucks durchgebrochen [52]. Eine ähnliche Ausgangssituation liegt vor bei Brückenwiderlagern auf Pfahlgründungen mit Anschlußdämmen auf weichen bindigen Böden (vgl. Abschnitt 5.4.1, Bild 5.4-1).

Die Gefahr, daß weiche bindige Böden unter einer Auflast zu fließen beginnen, besteht immer dann, wenn:

- der Boden eine breiige Konsistenz hat mit $I_c = 0,25$
- der Boden stark organisch ist mit einem Glühverlust $V_{gl} > 15\%$, dazu einen großen natürlichen Wassergehalt hat mit $w \geq 75\%$, und außerdem die Geländebruchsicherheit weniger als $\eta = 1,8$ beträgt
- ein anorganischer bindiger Boden eine Standsicherheit $\eta < 1,5$ aufweist

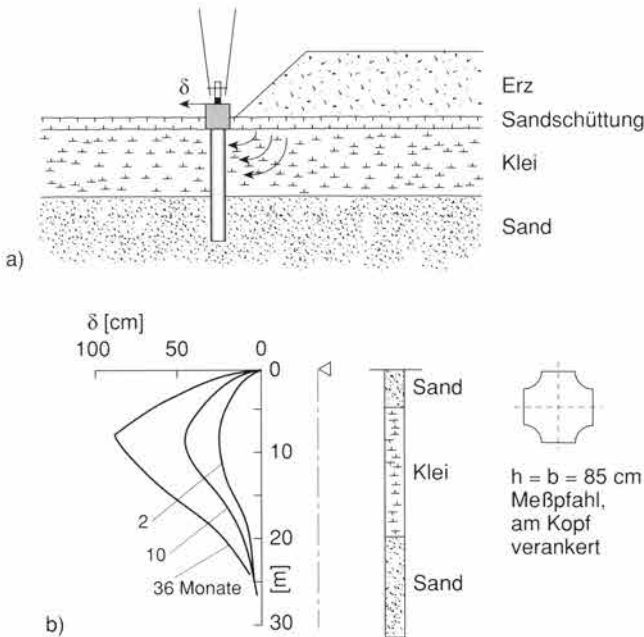


Bild 5.4-4
Langzeitversuch. Wirkung des Seitendruckes auf einen Stahlpfahl [52]
a) Situation, b) Meßergebnisse

Bei unzureichender Standfestigkeit des bindigen Bodens sind 2 Fälle möglich [53]:

1. Der weiche Boden umfließt die Pfähle. Dabei baut sich ein Staudruck p_f auf, der der Scherfestigkeit des undränierten Bodens c_u proportional ist:

$$p_f \approx 10 \cdot c_u \cdot b \quad b = \text{Pfahlbreite} \quad (5-33)$$

2. Die Pfähle stabilisieren den weichen bindigen Boden durch ihre Biegesteifigkeit. Die dafür erforderliche Kraft wird durch einen Vergleich der treibenden und widerstehenden Kräfte im bindigen Boden ermittelt (siehe Bild 5.4–5):

$$\Delta e \approx e_a - c a l e_p = \gamma \cdot z + \Delta p - 2c_u - \gamma \cdot z = \Delta p - 2c_u \quad (5-34)$$

Der **kleinere** dieser Seitendrucke ist maßgeblich!

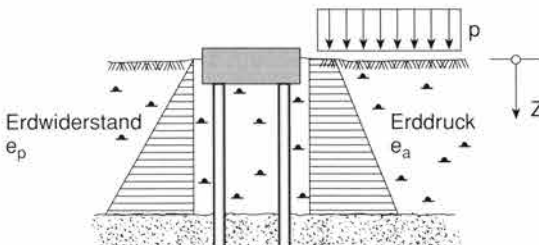


Bild 5.4-5
Treibende und widerstehende Erddruckkräfte in weichem, bindigem Boden nach [53]

Auch für die Einflußbreite eines einzelnen Pfahles hinsichtlich des Seitendrucks gibt es verschiedene obere Grenzwerte, von denen jeweils der **kleinste** maßgeblich ist, beispielsweise:

- dreifache Pfahlbreite
- Achsabstand quer zur Krafrichtung
- Dicke der weichen Schicht

Es gibt noch keine allgemein anerkannte Richtlinie, wie der Abstand zwischen einer Auflast und einer Pfahlgründung zu berücksichtigen ist. Beobachtungen an Meßpfählen während des Vortriebs eines Dammes, der „vor Kopf“ geschüttet wurde zeigen, daß dieser Faktor erhebliche Auswirkungen hat, und daß die Verschiebungen des Bodens mit Annäherung an eine feste, unterlagernde Schicht abnehmen (siehe Bild 5.4-6) [54].

Die vergleichsweise schnelle Konsolidierung von Auelehmen macht bei solchem Untergrund eine lagenweise Schüttung der Anschlußdämme mit Zwischenkonsolidierung möglich. Bei einer

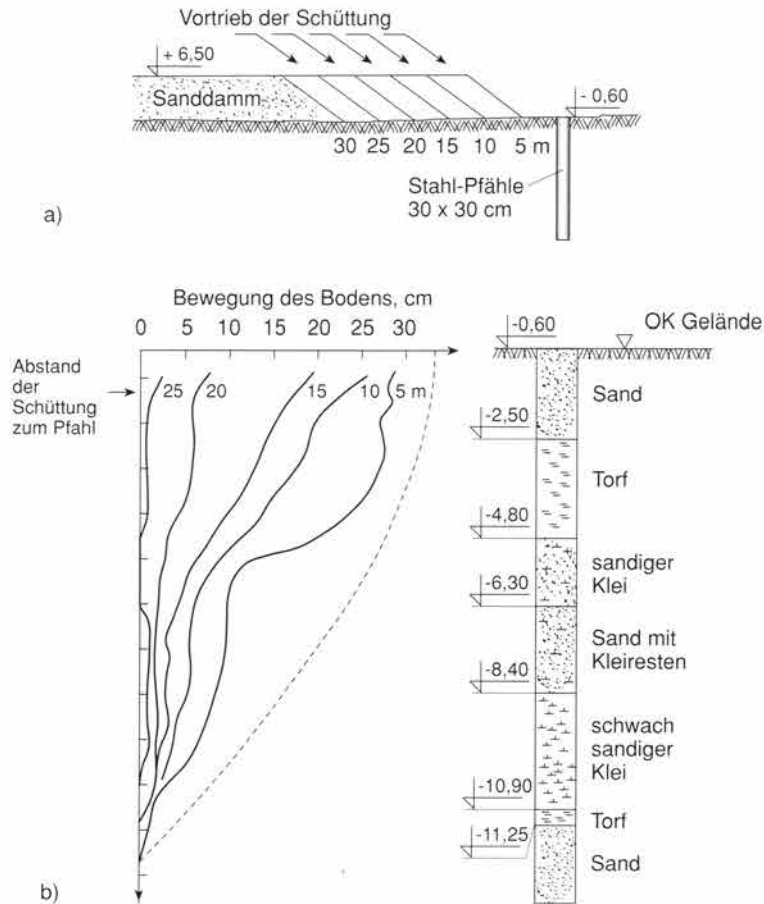


Bild 5.4-6

Verformung eines Stahlpfahles in weichem, bindigem Boden, infolge der Annäherung einer Dammschüttung [54]

a) Situation, b) Meßwerte

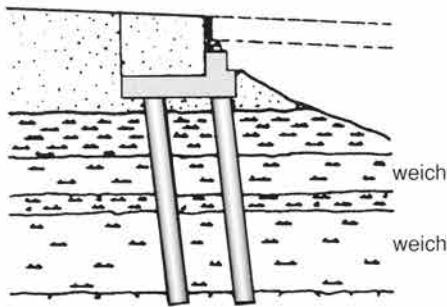


Bild 5.4-7
Pfahlgründung für ein Brückenwiderlager in weichem Auelehm

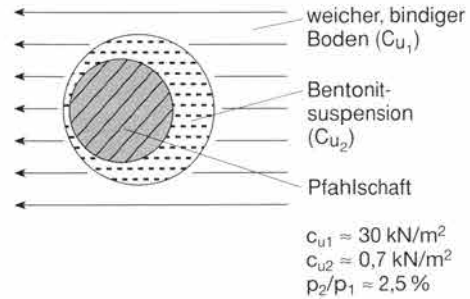


Bild 5.4-8
Knopflochgründung nach [55]

Brücke in Neckarsulm (Bild 5.4-7) wurde der Damm in 3 Etappen geschüttet und dadurch der rechnerische Seitendruck auf ein Drittel reduziert. Die Wartezeiten nach jeder Schüttlage betragen etwa zwei Wochen.

Bei der sogenannten Knopflochgründung wird versucht, den Fließdruck auf die Pfähle dadurch zu begrenzen, daß man die Schäfte mit einer Bentonitsuspension umgibt. Die kann den Bodenbewegungen folgen, ohne großen Druck auf die Pfähle auszuüben. Allerdings sind den Fließwegen Grenzen gesetzt (siehe Bild 5.4-8).

Beispiel: Höhe des Anschlußdammes $h = 4 \text{ m}$, Auflast $\Delta p = 4 \cdot 18 = 72 \text{ kN/m}^2$

1. Strömungskraft

a) auf (hintere) Einzelpfähle

$$p_f = 10 \cdot c_u \cdot b \\ = 10 \cdot 20 \cdot 1,50 = 300 \text{ kN/m}$$

b) auf einen (vorderen) Pfahl in der Reihe

$$\text{Verbauwirkung: } b/a = 1,50/2,80 = 0,54 \\ p_f \approx 2 \cdot 300 = 600 \text{ kN/m}$$

c) Fließdruck auf die Pfahlgruppe

$$\Sigma P_f \approx 10 \cdot (2 \cdot 300 + 5 \cdot 600) = \\ = 36000 \text{ kN} = 36 \text{ MN}$$

2. Erddruckvergleich (siehe dazu Bild 5.4-5)

Maßgeblich für die Belastungsbreite ist die gesamte Breite der Pfahlgruppe. Die Grenze wird im Abstand von $3D/2$ zu den Achsen der Randpfähle angesetzt.

$$\text{rechn. } B = 4 \cdot 2,80 + 2 \cdot 1,5 \cdot 1,50 = 15,70 \text{ m}$$

$$\text{Erddruckdifferenz } \Delta E = (\text{cal } E_a - \text{cal } E_p) \cdot \text{rechn. } B$$

$$\text{cal } e_a = \gamma \cdot z + \Delta p - 2c_u \quad (5-35)$$

$$\text{cal } e_p = \gamma \cdot z \quad (5-36)$$

$$\Delta E = (\Delta p - 2c_u) \cdot z \cdot \text{rechn } B \\ = (72 - 2 \cdot 20) \cdot 10 \cdot 15,70 = \\ = 5024 \text{ kN} = 5 \text{ MN}$$

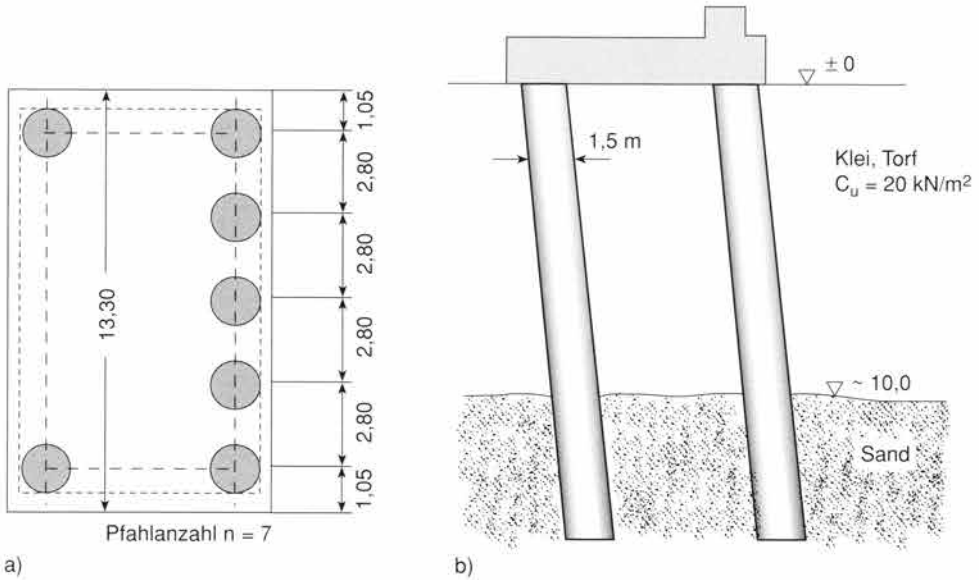


Bild 5.4-9
 Beispiel für den Seitendruck auf die Pfahlgründung eines Brückenwiderlagers
 a) Grundriß
 b) Schnitt

Das bedeutet, die Pfähle stabilisieren die weiche Schicht, ein Fließen tritt nicht ein, da $\Delta E < \Sigma P_i$
 Belastung der Pfahlschäfte im Bereich der weichen Schicht
 $q \approx \Delta E/n \cdot z = 5024/7 \cdot 10 = 72 \text{ kN/m}$

Durch Einbau von lotrechten Dräns zur Beschleunigung der Entwässerung und Schüttung des Dammes in beispielsweise 3 Teilhöhen, wobei jeweils die Konsolidierung des Bodens abgewartet wird, kann die vom unkonsolidierten Boden aufzunehmende Last Δp und damit die Pfahlbelastung q auf ein Drittel reduziert werden. Besser ist die Schüttung des Dammes vorab und Herstellung der Pfähle erst nach der Konsolidierung der Weichschichten.

Pfahllast i. d. Gruppe/Einzelpfahllast

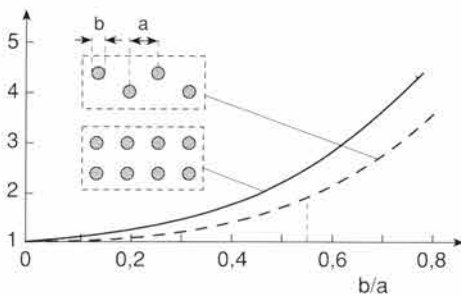


Bild 5.4-10
 Anwachsen der Einzelpfahllast (um den auf der Ordinate angegebenen Faktor) durch die Verbauwirkung einer Pfahlgruppe nach [56]

5.5 Innere Tragfähigkeit, Bemessung

Die „innere Tragfähigkeit“ eines Pfahles ist durch die Bruchlast seines Schaftes gegeben. Je nach der planmäßigen Belastung müssen die Pfähle als Druckglieder, Zugglieder oder auf Biegung mit Längskraft bemessen werden.

Bei vollständig im Boden eingebetteten Pfählen braucht nach DIN V1054 Teil 100 im allgemeinen kein Knicknachweis geführt zu werden. Ausgenommen sind Pfähle in weichen bindigen Böden mit $c_u \leq 15 \text{ kN/m}^2$. Zu beachten ist, daß die Knicksicherheit von Stützen, die auf Einzelpfählen gegründet sind, durch eine seitliche Verschiebung und eine Verdrehung des Pfahlkopfes infolge von Querkraften herabgesetzt wird.

Zusätzlich zu den planmäßigen Lasten müssen bei Pfählen häufig mögliche außerplanmäßige Belastungen in Betracht gezogen werden. Für Bohrpfähle muß beispielsweise nach DIN 4014 grundsätzlich berücksichtigt werden, daß die Pfahlachse im Bohransatzpunkt um 5% des Pfahldurchmessers, mindestens aber um 5 cm von der Sollage abweichen kann, und die Pfahlneigung um 1,5% von der Sollrichtung. Nach E DIN 4014-500 betragen die zu berücksichtigenden Herstellungstoleranzen für die Lage mindestens 10% des Durchmessers, mindestens aber 10 cm, und der Neigung 2 cm/m bei lotrechten und steil gestellten Pfählen, 4 cm/m bei Neigungen von 15:1 bis 4:1.

Durch seitlich aufgebrachte, zusätzliche Auflasten, durch die spätere Herstellung einer Baugrube mit nachgiebigem Verbau in unmittelbarer Nähe der Pfähle, oder durch Bewegungen weicher, bindiger Böden können die Pfähle auf Biegung beansprucht werden. Dasselbe gilt für Schrägpfähle, wenn Setzungen des umgebenden Bodens eintreten können, beispielsweise bei Lagerhallen, bei denen nur die Stützen des Bauwerks, nicht aber die Hallenfußböden auf Pfählen gegründet werden.

Pfähle werden im Regelfall zentralsymmetrisch bewehrt. Die erforderliche Längsbewehrung kann mit Hilfe von Interaktionsdiagrammen oder von elektronischen Rechenprogrammen ermittelt werden. In DIN 1045 wird eine Mindestbewehrung von 0,8% des statisch erforderlichen Querschnitts verlangt. Für Großbohrpfähle enthält die ZTV-K 80 im Abschnitt 6.3.43 weitergehende Forderungen.

Wenn bei Großbohrpfählen wegen aggressiven Grundwassers die Rissebeschränkung nachgewiesen werden muß, kann sich die Bewehrung erheblich vergrößern, weil die Stabdurchmesser aus konstruktiven Gründen relativ groß sind. Bei horizontaler Belastung müssen diese Pfähle auch auf Schub bemessen werden.

6.7.5 Arbeiten mit dem Freifallmeißel

Der Freifallmeißel ist ein Bohrwerkzeug zum Durchhören von Bohrhindernissen wie z. B. Mauerwerk, Findlingen, Felsschichten o.ä. Mit dem Freifallmeißel wird auch die Pfahleinbindung in Felsschichten hergestellt. Er hängt am Seil des Trägergerätes. Der Geräteführer läßt ihn auf die Bohrlochsohle fallen, wobei er mehr oder weniger tief in den Untergrund eindringt.

Die Meißelarbeit beruht auf dem Prinzip, daß die Lageenergie ($G \cdot h$), die in dem um die Fallhöhe h angehobenen Meißel mit dem Gewicht G steckt, beim Fallen in Bewegungsenergie ($1/2 m v^2$) und auf der Bohrlochsohle in Kerb- bzw. Zertrümmerungsarbeit umgesetzt wird. Die Einzel-schlagarbeit muß so groß sein, daß eine örtliche Zerstörung erzeugt, d. h. das anstehende Hindernis zum Zerplatzen gebracht bzw. zertrümmert wird.

Bei trockenen Bohrlöchern wird die Meißelleistung durch geringe Wasserzugabe ins Bohrloch verbessert. Auch das Meißelgut läßt sich mit Hilfe von Wasser leichter aus dem Bohrloch entfernen. Das Wasser bildet mit dem Bohrklein meist einen dickflüssigen Brei, der dann mit der Schlammbüchse oder der Kiespumpe gefördert werden kann. Außerdem wird durch Wasser im Bohrloch die Meißelschneide laufend gekühlt, wodurch ihre Standzeit wesentlich erhöht wird.

Durch die Zugabe von etwas Bentonit kann der Meißelschneidenabrieb verringert werden. Für die jeweiligen Einsätze stehen verschiedene Meißelformen zur Verfügung.

Damit kein unnötiger Verschleiß an Bohrgerät und Bohrwerkzeug auftritt, sollten beim Meißeln im trockenen Bohrloch folgende Fallhöhen nicht überschritten werden:

- Weichgestein: maximal $H = 3,0$ m
- Hartgestein: maximal $H = 4,0$ m

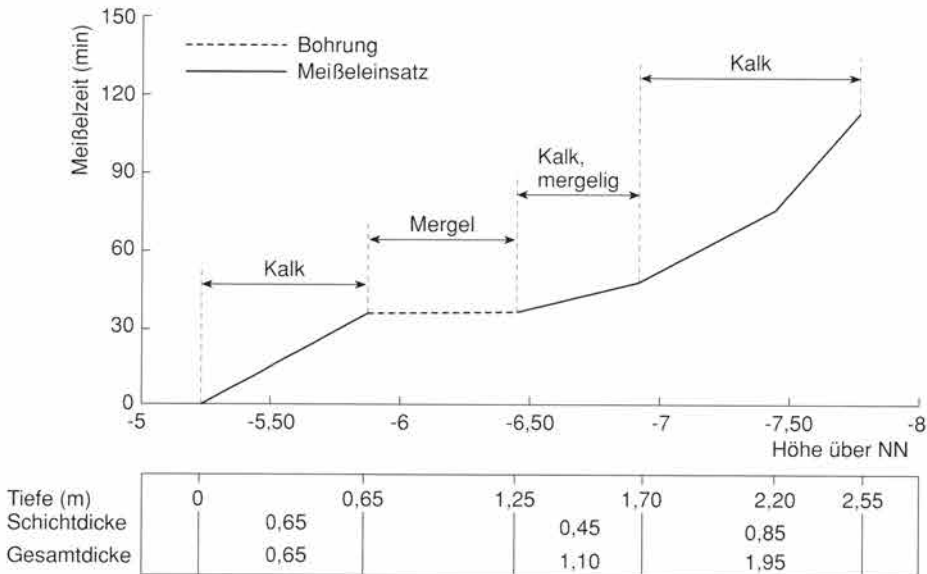


Bild 6.7-9

Beispiel eines Meißeldiagrammes, das die Einbindung eines Pfahles in felsigen Untergrund darstellt [13]

Bei Meißelarbeiten unter Wasser kann jeweils ungefähr mit der doppelten Fallhöhe wie im trockenen Bohrloch gearbeitet werden. Größere Fallhöhen bei Wasser bringen nicht viel mehr Wirkung, da ein erheblicher Teil der Fallenergie beim Aufschlag auf das Wasser verloren geht.

Weich gebettete Einzelsteine oder Findlinge dämpfen den Meißelaufschlag stark, deshalb kann mit einer etwas größeren Fallhöhe als der bei Massivgestein eher eine Zertrümmerung des Steines erreicht werden. Meißelarbeiten sind oft nur mit Zustimmung der Bauaufsicht durchführbar. Es ist zweckmäßig, die Vergütung nach Metern und nicht nach Zeit vorzunehmen. Ein Einheitspreis dafür muß im Leistungsverzeichnis vorgesehen sein.

Da die Notwendigkeit eines Meißeleinsatzes oft strittig ist und die Kosten dafür hoch sind, empfiehlt es sich, die Meißelarbeiten mit extremer Genauigkeit zu überprüfen und zu verzeichnen.

6.7.6 Arbeiten mit Bohrgreifern

Der Greifer wird hauptsächlich dort eingesetzt, wo Bodenarten wie Auffüllung, Ton, Schluff, Sand, Lehm, Kies, etc. im Trockenen ausgehoben werden.

Beim Arbeiten unter Wasser eignet sich der Greifer in der Regel nur in Auffüllung, Ton und Lehm, weniger hingegen in Sanden und Kiesen, da diese meistens beim Greiferrückzug aus den Schaufeln geschwemmt werden. Mit Ausnahme der eingesicherten Greifer ist der Bohrgreifer ein Freifall-Stechwerkzeug. Die Fallhöhe der Greifer muß dem zu lösenden Boden angepaßt werden. Übergroße Fallhöhen bringen keine Leistungssteigerung, sondern führen zu kostspieligen Gewaltschäden.

Dazu einige Anhaltswerte für trockene Bohrlöcher:

- steifplastische, bindige Böden ~ 6 m
- halbfeste bzw. mitteldicht gelagerte
 bis dicht gelagerte Böden ~ 4 m
- rollige Böden 0,5–1 m
 (in dieser Bodenart soll nur
 „gegraben“ werden)

Wasser im Bohrloch bedeutet Leistungsabfall wegen der Bremswirkung auf den Greifer und durch Ausspülungen des Feinmaterials im Fördergut, besonders bei rolligen Böden. Die Fallhöhen bei Arbeiten unter Wasser regulieren sich gegenüber den Fallhöhen im trockenen Bohrloch von alleine.

6.7.7 Arbeiten mit der Sand- und Kiespumpe

Für Bohrungen bei hoher Wassersäule sind die HW-Sand- und Kiespumpen wegen ihres großen Fassungsvermögens (bis 2000 l pro Hub) äußerst leistungsfähig. Sie eignen sich ganz besonders gut zum Fördern von Kiesen und Sanden, Schlamm, Meißelklein usw., aber auch z. B. zum Einfangen von Gesteinsbrocken.

Die HW-Sand- und Kiespumpe steigert erheblich die Leistung der Felsmeißel bei Arbeiten im Grundwasser, weil die Bohrsohle nach jeder Meißelphase völlig vom Meißelklein gereinigt werden kann.

Beim Reinigen der Gründungssohle im Grundwasser mit manchen Bohrgreifern kann die Aufstandsfläche wegen der Form der Greiferschaufeln oft nur unzureichend von gelöstem, aufgelockertem und abgelagertem Material gesäubert werden.

Beim Fördern z. B. von Feinsanden oder Schlamm durch eine hohe Wassersäule werden bekanntlich ständig Feinststoffe aus den Greiferschaufeln ausgespült, die als Schwebstoffe die Bohrtrübe bilden und sich vor dem Betonieren auf der Gründungssohle ablageren.

Mit der HW-Sand- und Kiespumpe ist es möglich, die Gründungssohle unmittelbar vor dem Betonieren bestens zu reinigen. Das untere Kugelventil ermöglicht es, die ganze Pfahlaufstandsfläche praktisch vollkommen zu säubern. Die Qualität der Pfahlgründung kann damit in vielen Fällen erheblich verbessert werden.

Sowohl in der DIN 4014 (1990) 6.2.1 als auch in der zukünftigen Euronorm für Bohrpfähle DIN EN 1536 wird auf die Kolbenwirkung bei Arbeiten mit der Kiespumpe hingewiesen. Die Angaben sind jedoch sehr allgemein gehalten. Sie besagen lediglich, daß bei Bohrungen, die mit Flüssigkeitsdruck gestützt werden, darauf zu achten ist, daß der Überdruck durch die Kolbenwirkung beim Ziehen des Bohrwerkzeuges nicht beeinträchtigt werden darf.

In der alten DIN 4014 (1977) Teil 2, Erläuterung zu 6.2.1, wurde folgendes verlangt:

„Um die Kolbenwirkung beim Ziehen der Kiespumpen, besonders in feinen, gleichkörnigen Böden ohne Kohäsion, einzuschränken, darf das Durchmesser Verhältnis von Kiespumpe D_2 zur Bohrung D_1 nicht größer als 0,5 sein ($D_2/D_1 \leq 0,5$),“ siehe dazu Tabelle 6.5-4 im Abschnitt 6.5.9. Starker Aufschlag auf die Wasserfläche führt oft zur Zerstörung, nicht zu einer Leistungssteigerung. Bei Fein- und Mittelsanden ist nicht zu oft zu pumpen; das Wasser-Sandgemisch führt zu Kolbenverklemmungen.

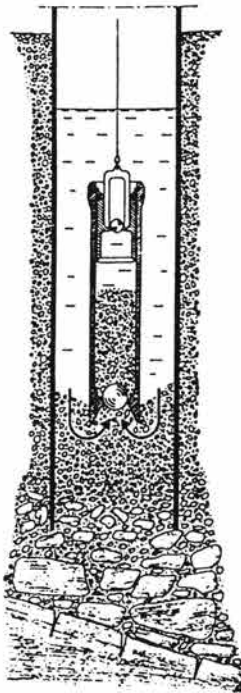


Bild 6.7-10
HW-Sand- und Kiespumpe

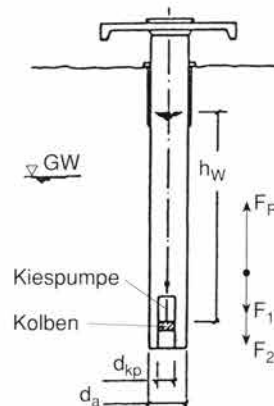


Bild 6.7-11
Krafteinwirkung auf die Kiespumpe

Wichtig ist die Ermittlung der Rückzugskraft. Sie errechnet sich wie folgt (siehe Bild 6.7-11):
Wasserlast (F_1) auf der Querschnittsfläche des Kolbens

$$A_{kp} = \frac{d_{kp}^2 \cdot \pi}{4} \quad p_w = h_w \cdot \gamma_w \quad F_1 = A_{kp} \cdot p_w$$

Ansaugkraft (F_2), hervorgerufen durch die Aufwärtsbewegung des Kolbens, Unterdruck p_v , bei totalem Vakuum 1 bar.

$$F_2 = A_{kp} \cdot 1 \text{ bar} \quad 1 \text{ bar} = 100 \text{ kN/m}^2$$

Gesamte Rückzugkraft:

$$F_R = F_1 + F_2 = A_{kp} \cdot (p_w + 100 \text{ kN/m}^2)$$

6.7.8 Besonderheiten bei Bohrpfahlwänden

Bohrpfahlwände sind Stützkonstruktionen und werden durch Großbohrpfähle gebildet, die in einer Reihe stehen, jedoch unterschiedliche Abstände zueinander haben können. Die Bohrpfähle sind sehr biegesteif, so daß sich beim Bodenaushub die Bodenbewegungen hinter dieser Wand weitgehend verhindern lassen. Bohrpfahlwände eignen sich daher besonders gut für Baugrubenumschließungen im unmittelbaren Druckausbreitungsbereich von Bauwerken.

Bei Pfahlwänden sind drei Ausführungsarten üblich, die in Bild 6.7-12 dargestellt und in den nächsten Kapiteln beschrieben werden.

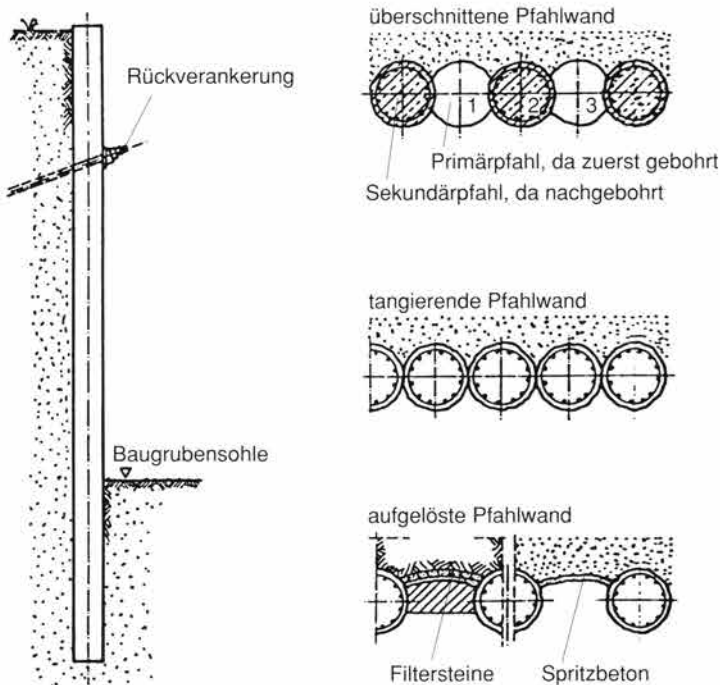


Bild 6.7-12
Ausführungsarten von Pfahlwänden

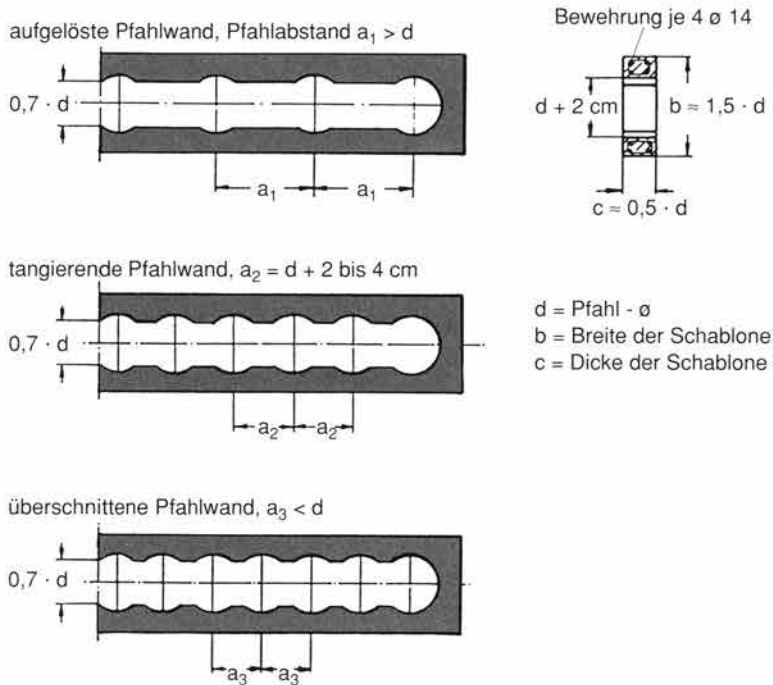


Bild 6.7-13
Bohrschablonen für Pfahlwände

Zum Bohren der verschiedenen Pfahlwandtypen sind vorab Bohrerschablonen aus Stahlbeton herzustellen. Die Bohrerschablone hat den Zweck, ein genaues Ansetzen und Führen der Bohrrohre während der ersten Bohrmeter zu ermöglichen (siehe Bild 6.7-13). Die etwa 30 cm hohen, bewehrten Schablonen werden an Ort und Stelle in Höhe des Bohrplanums betoniert. Außer der Längsbewehrung sind in regelmäßigen Abständen Querbewehrungsstäbe angeordnet, die die beiden Schablonehälften zugfest miteinander verbinden.

Während des Abbohrens und Ziehens der Bohrrohre hat die Bohrerschablone hohe Beanspruchungen aus der Verrohrungsmaschine aufzunehmen, die unmittelbar auf der Bohrerschablone steht. Der Untergrund muß entsprechend tragfähig und die Bohrerschablone stabil ausgebildet sein.

Bei der aufgelösten Pfahlwand ist der Achsabstand der Pfähle größer als der Pfahldurchmesser, so daß Zwischenräume zwischen den Pfählen entstehen.

Aufgelöste Pfahlwände können dann eingesetzt werden, wenn der Baugrund zumindest so lange standfest ist, bis der Zwischenraum zwischen den Pfählen freigelegt und gegebenenfalls mit einer Spritzbetonschicht gesichert ist. Hierzu ist Voraussetzung, daß mehr als der halbe Umfang der Pfähle freigelegt wird, damit die wie ein Gewölbe wirkende Spritzbetonschale ein gutes Widerlager an der Pfahloberfläche vorfindet.

Die Spritzbetonschale kann gegebenenfalls mit Betonstahlmatten bewehrt werden. Diese Bauweise bringt es mit sich, daß aufgelöste Pfahlwände oberhalb des Grundwasserspiegels liegen müssen. Die einzelnen Pfähle werden nach statischen Erfordernissen bewehrt.

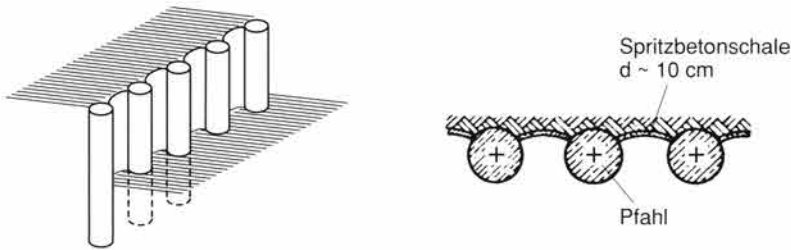


Bild 6.7-14
Aufgelöste Pfahlwand mit Spritzbetonschale zwischen den Pfählen

Mit der tangierenden Pfahlwand können, da mehr tragender Querschnitt pro Meter Wandfläche zur Verfügung steht, größere Momente und Querkräfte als bei der aufgelösten Pfahlwand abgetragen werden (gleiche Pfahldurchmesser vorausgesetzt). Wie bei der aufgelösten Pfahlwand, so sind auch bei der tangierenden Pfahlwand alle Einzelpfähle bewehrt. Auch hier gilt, daß die freizulegenden Wandflächen oberhalb des Grundwasserspiegels liegen müssen, will man nicht einen geringen Wasserzufluß in den Pfahlfugen in Kauf nehmen.

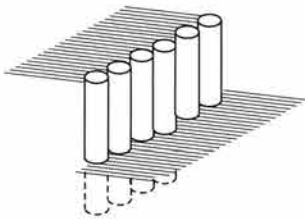


Bild 6.7-15
Tangierende Pfahlwand

Bei der tangierenden Pfahlwand stehen die Einzelpfähle dicht an dicht nebeneinander, mit einem theoretischen Zwischenraum von 2 bis 4 cm; sie berühren sich praktisch.

Diese Wandart wird angewendet, wenn beim Baugrubenaushub lockerer Boden zwischen den Pfählen hindurchrieseln könnte. Bei standfesten Bodenarten dagegen können statische Gesichtspunkte wie horizontale und vertikale Belastungen der Wand den Ausschlag für die Wahl einer tangierenden Pfahlwand geben.

Bei der Herstellung der Pfähle ist auf große Genauigkeit, vor allem im Hinblick auf ihre senkrechte (lotrechte) Stellung zu achten. Die Bohrung darf beim Abbohren nicht in den bereits hergestellten Nachbarpfahl verlaufen und dabei dessen Bewehrung beschädigen. Auch das Verlaufen der Bohrung zur Baugrube hin bzw. weg von der Baugrube ist möglichst zu verhindern, da dies mit kostspieligen Nacharbeiten verbunden ist und zu einer Öffnung des Spalts zwischen den betroffenen Pfählen führt.

Damit bei den in der Tabelle 6.7-1 angegebenen Achsabständen der Pfähle die Pfahlbewehrung eines fertigen Pfahles durch die Herstellung des Nachbarpfahls nicht beschädigt wird, sind die zulässigen Gesamtabweichungen des fertigen Pfahles von der Senkrechten sehr gering. Bei den Werten der Tabelle 6.7-2 ist vorausgesetzt, daß der noch herzustellende Nachbarpfahl nicht gegen den bereits fertiggestellten verläuft, d. h. er muß senkrecht stehen oder darf nur vom fertigen Pfahl weg verlaufen.

Tabelle 6.7-1
Achsabstände der Pfähle bei der tangierenden Pfahlwand

Pfahldurchmesser (cm)	Achsabstand (cm)
60	62
90	93
120	124

Tabelle 6.7-2
Zulässige maximale Gesamtabweichung von tangierenden Pfählen

Durchmesser (cm)	Achsabstand (cm)	Anschneiden durch Nachbarpfahl (cm) ^{a)}	Vertretbare Gesamtabweichung (cm)
60	62	2	4
90	93	2	5
120	124	2	6

^{a)} Von der geforderten Betondeckung von 5 cm nach DIN 4014 bleiben dann noch 3 cm als Restdeckung.

Rechnet man auch mit einer Abweichung des Nachbarpfahles, so daß beide Pfähle gegeneinander verlaufen, dann darf jeder der zwei Pfähle nur noch um die Hälfte der Tabellenwerte abweichen.

Bei der überschnittenen Pfahlwand überschneiden sich die Bohrungen der Einzelpfähle. Ihr Achsabstand ist kleiner als der Pfahldurchmesser. Zum Abteufen werden vorwiegend hydraulische Verrohrungsmaschinen eingesetzt.

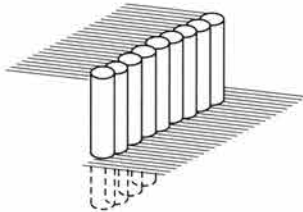


Bild 6.7-16
Überschnittene Pfahlwand

Bei der Herstellung wird zunächst nur jeder zweite Pfahl gebohrt und betoniert, in der Reihenfolge 2, 4, 6 (siehe Bild 6.7-17). Weil diese Pfähle zuerst hergestellt werden, werden sie als Primärpfähle bezeichnet. Sie erhalten keine Bewehrung, da sonst die Zwischenbohrungen 1, 3, 5, nicht eingeschnitten werden könnten.

Damit ergibt sich folgendes Herstellungsschema:

Pfahl 2 bohren und betonieren, dann wird Pfahl 1 gebohrt, Bewehrungskorb eingestellt und betoniert, dann wird um $3 \times a$ verzogen auf den Pfahl 4. Dieser wird ein nicht bewehrter Pfahl. Mit dem Pfahl 3, der als nächster herzustellen ist, werden die Pfähle 2 und 4 angeschnitten usw., usw.

Es ist wichtig, daß die aneinandergereihten Maße von jeweils dem Einfachen oder Mehrfachen von a dadurch überprüft werden, daß man nach einer Reihe von Pfählen das Gesamtmaß von der Achse des ersten Pfahles aus nimmt.

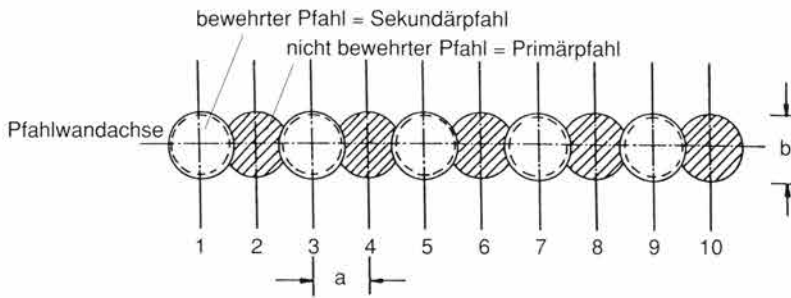


Bild 6.7-17
Überschnittene Pfahlwand

Die Festigkeitsklasse des Betons der Primärpfähle kann nach statischen und herstellungstechnischen Erfordernissen gewählt werden. In DIN 4014 werden keine Mindestfestigkeiten gefordert; im Gegensatz zu tragenden Pfählen ist zu beachten, daß ein späteres Überschneiden für die Zwischenpfähle noch wirtschaftlich möglich sein muß.

Das Anschneiden der Nachbarpfähle wird erleichtert, und das Abweichen des Bohrrohres von der Sollrichtung wird verringert, wenn die Primärpfähle aus einem Beton geringer Festigkeit hergestellt werden. Würde für die Primärpfähle wie für die Sekundärpfähle ein Beton mit $350 \text{ kg Zement/m}^3$ verwendet, so betrüge die Festigkeit eines drei Tage alten Nachbarpfahles beispielsweise etwa 10 N/mm^2 und die des danebenliegenden etwa sieben Tage alten Pfahles bereits 25 N/mm^2 . Somit betrüge der Festigkeitsunterschied zwischen den beiden anzuschneidenden Primärpfählen 15 N/mm^2 . Wird dagegen für die Primärpfähle z. B. ein B 5 oder B 10 mit einem entsprechenden Zement/Flugasche-Verhältnis gewählt, so kann die Differenzfestigkeit der zwei anzuschneidenden Primärpfähle auf etwa 4 N/mm^2 verringert werden. Dementsprechend wird das Anschneiden der beiden Pfähle erleichtert und die Gefahr der Bohrrohrabweichung verringert.

Bei Verwendung von Erstarrungsverzögerern wird der Erstarrungsbeginn entsprechend verzögert. Die nach dem Erstarrungsbeginn einsetzende Festigkeitszunahme des Betons schreitet rascher voran als beim nichtverzögerten Beton, d. h. daß die Auswirkung des Verzögerers im Laufe der Erstarrungszeit verschwindet. Durch die Verwendung eines Erstarrungsverzögerers wird das Auftreten der zuvor erwähnten Festigkeitsunterschiede nicht verhindert. Für die Herstellung von überschnittenen Pfahlwänden ist daher die Verwendung eines Betons geringer Festigkeit für die Primärpfähle und eines Betons der üblichen höheren Festigkeit für die bewehrten Sekundärpfähle zweckmäßig.

Bei überschnittenen Pfahlwänden dürfen die Primärpfähle auch mit Mörtel anstelle von Beton hergestellt werden.

Die nachfolgenden Zwischenpfähle 3, 5, 7 werden als Sekundärpfähle bezeichnet. Ihre Bohrungen schneiden die Primärpfähle 2, 4, 6 an. Die Sekundärpfähle werden bewehrt und sind nach DIN 4014 mit Beton mindestens der Festigkeitsklasse B 25 herzustellen. Sie wirken als Tragpfähle, vor allem für horizontale Lasten, und können gemeinsam mit den Primärpfählen eine wasserdichte Baugrubenumschließung bilden. Dafür ist jedoch entscheidend, daß bei den Bohrungen gewisse Toleranzmaße eingehalten werden.

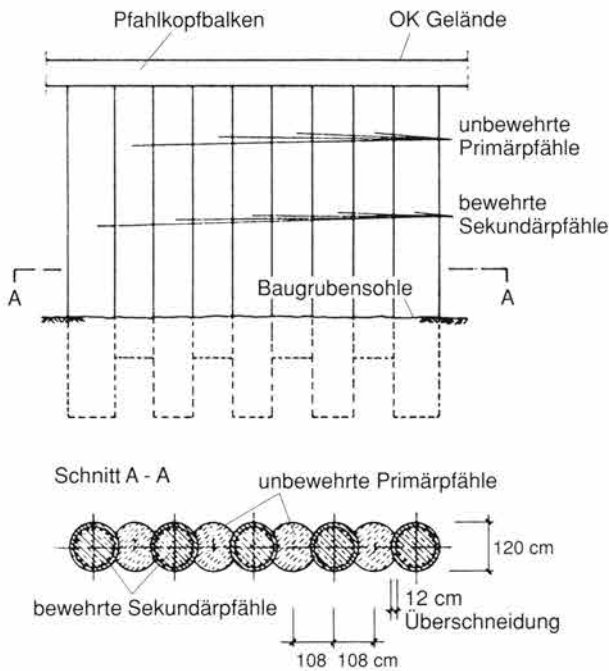


Bild 6.7-18

Ausbildung einer überschnittenen Pfahlwand.

Es ist üblich, die unbewehrten Pfähle knapp unter der geplanten Baugrubensohle zu lassen und nur die bewehrten Pfähle bis zur vollen Einspanntiefe auszuführen

Nachfolgend wird die Auswirkung von Abweichungen aus der Lotrechten bei der Pfahlbohrung gezeigt.

Tabelle 6.7-3

Achsabstände der Pfähle bei der überschnittenen Pfahlwand im Regelfall

Pfahldurchmesser D (cm)	Achsabstand a (cm)	Toleranzmaß für die Abweichung von der Lotrechten (% der Länge)
60	45	0,5 %
90	75	bis
120	105	1,0 %

Bei dem im Bild 6.7-19 dargestellten Beispiel wird zunächst davon ausgegangen, daß die Pfähle nur in der Wandebene nach links oder rechts verlaufen. Unter der Voraussetzung, daß Pfahl 1 von Pfahl 2 und Pfahl 2 von Pfahl 1 weg verläuft und beide Pfähle mit einer Abweichungstoleranz von 0,75 % hergestellt wurden, berühren sich diese zwei Pfähle in 10 m Tiefe gerade noch (siehe Bild 6.7-19a).

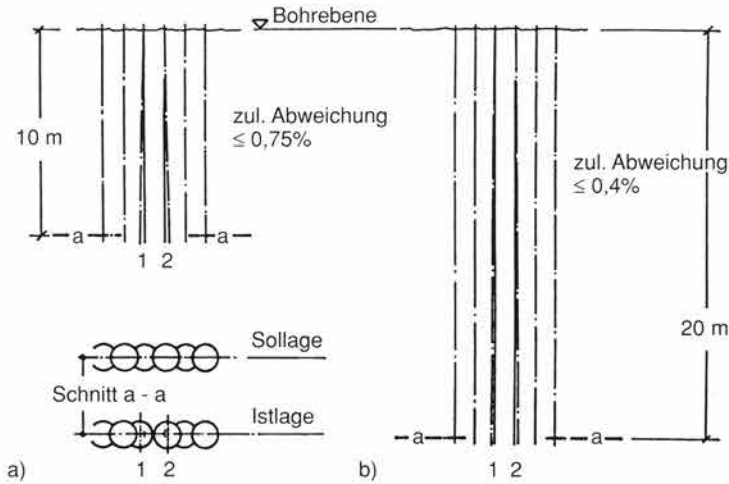


Bild 6.7-19
 Auswirkungen von Abweichungen von der Lotrechten
 a) $l = 10\text{ m}$, b) $l = 20\text{ m}$

Rechnet man noch einen kleinen Fehler im Bohransatzpunkt hinzu, so muß entweder das Toleranzmaß oder aber die Teilung, d. h. der theoretische Abstand von Pfahl zu Pfahl verkleinert werden. Bei größeren Pfahllängen nach Bild 6.7-19b muß das Toleranzmaß entsprechend reduziert werden. Wenn die Pfähle auch noch Abweichungen senkrecht zur Wand haben, sind wesentlich geringere Toleranzmaße anzusetzen, wie aus Bild 6.7-20 zu erkennen ist.

Damit die Gesamtabweichung aus der Lotrechten für eine Pfahlwand mit 10 m Tiefe einen zulässigen Wert von 0,75 % nicht überschreitet, müssen die Abweichungen des Einzelpfahles in der Wandebene und senkrecht dazu jeweils $\leq 0,5\%$ sein. Nur wenn diese Werte eingehalten werden, ist sichergestellt, daß sich Pfahl 1 und Pfahl 2 in 10 m Tiefe gerade noch berühren.

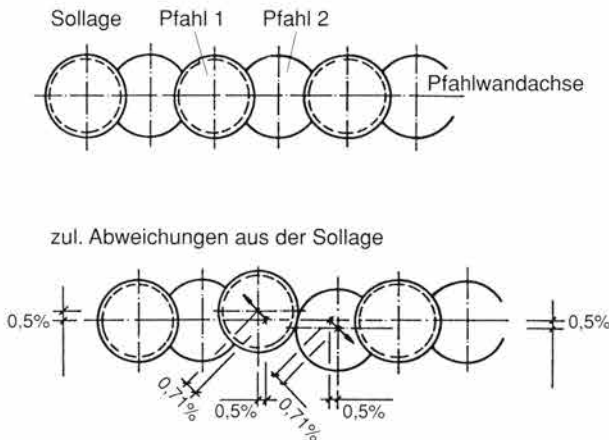


Bild 6.7-20
 Abweichung des Einzelpfahles in der Wandebene und senkrecht dazu

Durchführung der Messungen siehe Abschnitt 6.7.11. Die Lage- und Neigungsanpassung der bewehrten Sekundärpfähle ist dem Lotergebnis der unbewehrten Primärpfähle entsprechend durchzuführen.

Pfahlwände können auch geneigt ausgeführt werden, wenn z. B. für eine Baugrube an der Straßenoberfläche eine geringe Breite zur Verfügung steht und durch Unterschneiden der Gehwegbereiche und Gebäudefundamente mehr Baugrubenbreite zur Tiefe hin gewonnen werden soll. Die Grenzneigungen hierfür liegen bei etwa 10:1.

6.7.9 Arbeiten im Fels

Das Abteufen eines Pfahles gehört zu den Tätigkeiten, bei denen trotz sorgfältiger Planung unvorhergesehene Schwierigkeiten auftauchen können. Meist ergeben sie sich durch das Auftreten von Hindernissen in Form von Findlingen, Mauerwerk, alten Holzpfählen o.ä. Auch Störschichten aus gebrächen Felsbändern mit Zwischenlagen aus bindigen Böden können lästig werden. Selbst wenn die Felsschichten vorher bekannt sind, sind Arbeiten in diesem Medium langwierig und kostspielig.

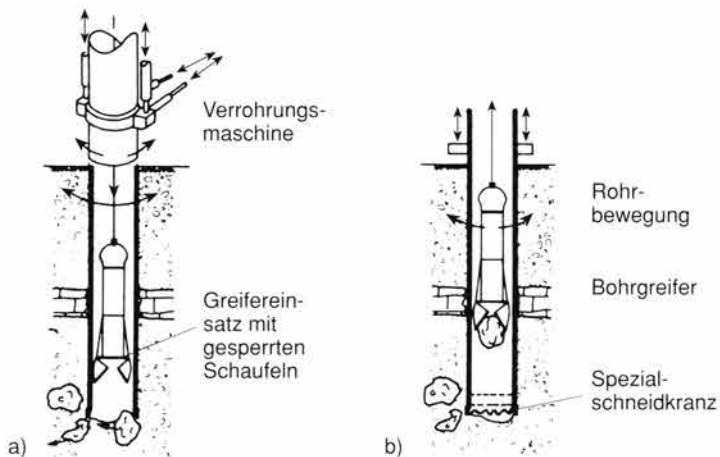


Bild 6.7-21

Durchteufen von Felsbänken geringer Festigkeit und Fördern von Findlingen geringer Größe [5]

Natürliche Bohrhindernisse entstehen oft durch Inhomogenitäten im Untergrund. Findlinge im Lockergebirge können in den seltensten Fällen verdrängt werden. Sind sie klein, gelingt es bisweilen, sie mit Hilfe des Bohrgreifers zu entfernen. Die Greifersysteme vertragen allerdings keine hohen Aufschlagkräfte. Unsachgemäßer Einsatz führt zu kostspieligen Gewaltschäden.

Der Einsatz von Flach- oder Kreuzmeißeln führt in der Regel nicht zum Erfolg, weil durch die ständige Hub- und Fallbewegung Feinteile aufgeschwemmt werden, die das Bohrhindernis zudecken und die Schlagenergie mindern. Bedeckt der Findling den ganzen Bohrlochquerschnitt, so läßt er sich meist mit dem Rollenmeißel durchbohren.

Inhomogenes Gestein läßt sich am besten mit dem Rollenbohrwerkzeug oder der Felsschnecke durchteufen, wobei die Andruckdosierung und Stabilisierung des Bohrstranges zur Vermeidung von Abweichungen wichtig ist.

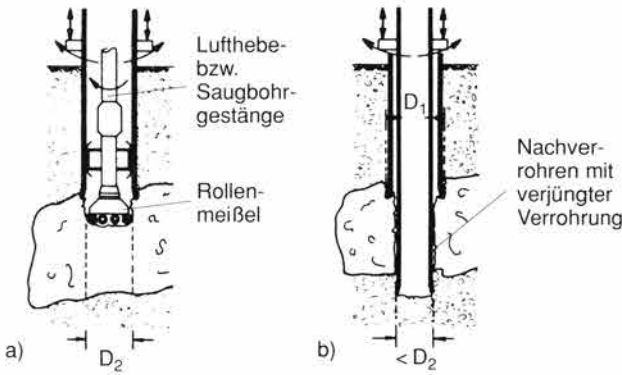


Bild 6.7-22
Durchteufen von Fels großer Festigkeit im Drehbohrverfahren [5]

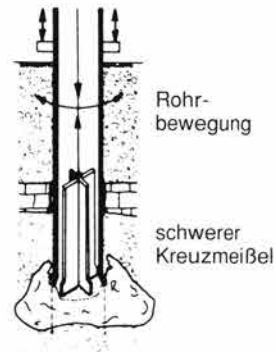


Bild 6.7-23
Schwerer Kreuzmeißel, geeignet für Fels mittlerer Festigkeit [5]

Der Einsatz eines Fallmeißels ist wirkungsvoll in Felsschichten und beim Auftreten von natürlichen und künstlichen Hindernissen. Weniger sinnvoll ist es, ihn in Formationen aus steifem Mergel zu verwenden.

Der Imlochhammer ist ein druckluftbetriebener Schnellschlaghammer mit Luftspülung zum Herstellen von Bohrlöchern im Fels. Das Gerät besteht aus der Schlagkrone, dem darüber liegenden Hammer und dem 2 bis 3 m langen Auffangkorb. Auffangkorb und Imlochhammer sind Hohlkörper, durch die ein Luftspülkanal geführt wird. Die Schlagkrone ist mit Hartmetalleinsätzen bestückt. Der Drehantrieb erfolgt durch einen hydraulischen Drehbohrkopf über eine Kellystange,

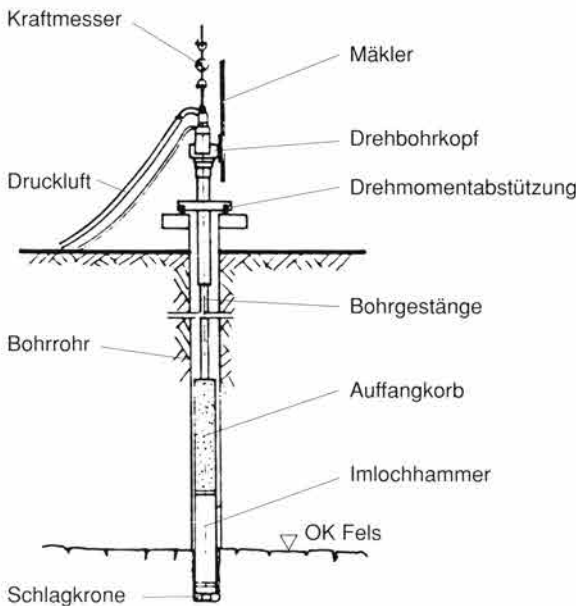


Bild 6.7-24
Imlochhammer

die mit dem Auffangkorb und dem Imlochhammer verbunden ist. Zum Betreiben des Imlochhammers werden z. B. bei einem Bohrllochdurchmesser von 700 mm bis zu 80 m³/min verdichtete Luft mit einem Druck von 10 bar benötigt. Als Trägergerät kann ein Bagger mit Mäkler dienen. An dem Mäkler kann der Drehbohrkopf und damit der Imlochhammer auf- und abbewegt werden.

In den meisten Fällen ist zuerst eine Felsüberlagerung mit Verrohrung im Greiferbetrieb zu durchfahren. Erst im Fels kann die Bohrung mit dem Imlochhammer fortgesetzt werden.

Die durch das Bohrgestänge geblasene Druckluft wirkt als Spülmittel und sorgt fortwährend für eine saubere Bohrlochsohle. Dadurch kann die Schlagkrone immer frei arbeiten. Darüber hinaus wird durch die Luftspülung erreicht, daß das Bohrklein mit der Luft im Ringraum zwischen Hammergehäuse und Bohrlochwand bzw. Bohrrohr schnell aufsteigt und dann durch Vergrößerung des Austragquerschnittes und der daraus herrührenden Verkleinerung der Strömungsgeschwindigkeit in den Auffangkorb zurückfällt. Durch Verlängerung des Auffangkorbes bis auf Geländehöhe besteht die Möglichkeit, das Bohrklein direkt ins Freie zu führen. Es lagert sich dann rund um den Bohrlochrand herum ab.

Das Trägergerät und der Mäkler müssen der erforderlichen Bohrtiefe angepaßt werden. Die Bohrleistungen, die mit dem Imlochhammer im Fels erzielt werden können, liegen um ein Vielfaches über denen der konventionellen Meißelmethode. Das liegt daran, daß die Schlagfolge zum Zertümmern des Gesteins groß ist, die Schlagenergie des Hammer direkt auf das Gestein wirkt und das Meißelgut sofort beseitigt wird. Besonders gute Leistungen werden in hartem, kompaktem Fels erzielt.

Der Hammer arbeitet mit 600 bis 700 Schlägen pro Minute. Der Bohrfortschritt einschließlich der Nebenarbeiten beträgt in kompaktem, hartem Fels bei einem Bohrllochdurchmesser von 70 cm bis etwa 2,50 m pro Stunde, während mit dem Freifallmeißel nur etwa 0,25 m pro Stunde erreicht werden können.

Die Imlochhammer-Großlochbohrung kommt nur dann in Frage, wenn die hohen Vorhalte- und Betriebskosten der gesamten Ausrüstung auf eine große Anzahl von Felsbohrungen umgelegt werden können. Zur Kontrolle des Bohrdrucks empfiehlt es sich, zwischen Hubseil und Hammer einen Kraftmesser (Dynamometer) einzuschalten.

Bei Wechsellagerung von harten und gebräunten Felsschichten muß der Geräteführer stets den Bohrfortschritt kontrollieren. Ein zu rasches Eindringen – insbesondere bei Zwischenlagen aus bindigen Böden – kann zu Verstopfungen führen. Der Imlochhammer muß dann ausgefahren und gereinigt werden.

Wenn die Hartgesteine geklüftet und trocken sind, kann von Hand mit Preßluft-Abbauhämmern ein guter Bohrfortschritt erzielt werden. In rissefreiem, kompaktem Hartgestein läßt sich der hohe Zeitaufwand für die Herstellung einer Pfahlfußeinbindung oder einer Pfahlfußweiterung in Meißelarbeit durch den Übergang zum Sprengbetrieb vermindern. Voraussetzung dafür ist jedoch, daß im trockenen Bohrloch bzw. unter Wasserhaltung gearbeitet werden kann.

Bei dem Verfahren wird zunächst die verrohrte Bohrung bis auf OK Fels hergestellt. Dann werden von der Bohrlochsohle aus mit einem druckluftbetriebenen Bohrhämmer die sogenannten Einbruchbohrungen V-förmig und dann die äußeren Bohrungen senkrecht niedergebracht. Die Tiefe der Bohrungen soll etwa halb so groß sein wie der Durchmesser der Fußeinbindung. Um beim Abteufen die erforderliche Einbindetiefe richtig aussprengen zu können, müssen die einzelnen Bohrungen um 20% verlängert werden, da der Fels durch die Sprenggasse nicht horizontal abgesichert wird. Es entstehen vielmehr einzelne Sprengtrichter.