

Die approbierte Originalversion dieser Diplom-/Masterarbeit ist an der Hauptbibliothek der Technischen Universität Wien aufgestellt (<http://www.ub.tuwien.ac.at>).

The approved original version of this diploma or master thesis is available at the main library of the Vienna University of Technology (<http://www.ub.tuwien.ac.at/englweb/>).



**TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN**

**VIENNA
UNIVERSITY OF
TECHNOLOGY**

DIPLOMARBEIT

Master's Thesis

Hindernisse im Spezialtiefbau – Auswirkungen auf Leistung und Kosten

Obstacles in special underground construction – influence of the work progress and prices

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines Diplom-Ingenieurs unter der Leitung von

Univ.Prof. DI Dr.techn. Hans Georg Jodl

am

Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement

eingereicht an der Technischen Universität Wien
Fakultät für Bauingenieurwesen

von

Nikolay Bonzholov

0427371

Krum Popov 15
A – 1421 Sofia

Sofia, im Juni 2010

.....

Vorwort

Die vorliegende Arbeit wurde am Institut für interdisziplinäres Bauprozessmanagement der TU Wien im Rahmen eines Doppel - Degree Studiums zwischen der Universität für Architektur, Bauwesen und Geodäsie Sofia und der Technischen Universität Wien entwickelt. Der Abschluss meines Studiums der Richtung Wasserbau ist eine Diplomarbeit, die aus zwei Teilen besteht. Die vorliegende Arbeit stellt den ersten Teil meiner Diplomarbeit dar und dient als Basis für die Erstellung des zweiten Teils.

An dieser Stelle bedanke ich mich bei meiner Familie für die finanzielle Unterstützung, ohne die ich mein Bauingenieurstudium nicht durchführen und beenden hätte können.

Besonders gilt mein Dank meinen Betreuern O.Univ.Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Hans Georg Jodl, und allen Professoren, die mich während des Studiums unterrichtet haben.

Auch meinen Kollegen und Freunden gilt mein Dank für die Hilfe und ihre Glauben an mich.

Kurzfassung

Die Entwicklung des Bauingenieurwesens stellt erhöhte Anforderungen an die Bauunternehmungen, einen optimalen Baubetrieb zu gewährleisten. Das verlangt moderne Technologien, Materialien, hochqualifiziertes Personal und leistungsfähige Geräte. Oftmals ist aber das nicht genug. Wie bei allen anderen Tätigkeiten gibt es auch hier Hindernisse, die die Leistung behindern und einen größeren Aufwand erfordern. Der Spezialtiefbau ist immer mit den unterirdischen Arbeiten verbunden und d.h., dass die Zahl der Hindernisse vermehrt auftreten und verschiedener Herkunft sein können. Deshalb ist es von besonderer Bedeutung, dass sie möglichst ausführlich untersucht werden. Nur dann können die besten Beseitigungsmaßnahmen getroffen und die Bauausführung optimiert werden. Alle diese Maßnahmen werden als Sonderleistungen bezeichnet, die mit Zusatzkosten verbunden sind.

Im Rahmen dieser Arbeit werden die wesentlichen Hindernisse im Spezialtiefbau und ihre Auswirkungen auf Leistung und Kosten dargestellt. Folgende Verfahren werden beschrieben: Schlitzwandverfahren, Pfahlherstellung, Spundwandverfahren, Injektionsverfahren und das Düsenstrahlverfahren.

Abstract

The development of civil engineering sets high requirements for construction companies to ensure optimal construction activity. It's requires advanced technologies, materials, equipment and highly qualified personnel. Often this is not enough. As all other activities, here arise obstacles, which reduced the progress of work and needs additional costs. Special underground construction is related with underground work, which means that the number of this obstacles increase and they may have a different origin. That's way they have to be well know analyzed. Only then can be found good methods for their removal and construction process will be optimized.

In this master diplom work are studied main obstacles in special underground construction and their influence on the progress of work and prices. Attention of this work is paid to: diaphragm walls, piles, sheet pile walls, grouting and jet – grouting.

Vorwort	1
Kurzfassung	1
Abstract	2
Abkürzungsverzeichnis	1
1 Einleitung	1
2 Schlitzwände	2
2.1 Allgemeines.....	2
2.2 Verfahren zur Schlitzwandherstellung	4
2.2.1 Zweiphasen – Verfahren.....	4
2.2.2 Einphasen - Verfahren.....	4
2.2.3 Kombinations – Verfahren	5
2.3 Herstellungsphasen.....	5
2.3.1 Vorarbeiten.....	6
2.3.2 Herstellung der Leitwand	6
2.3.3 Aushub.....	7
2.3.4 Stützflüssigkeiten.....	10
2.3.5 Bewehren.....	11
2.3.6 Betonieren	12
2.4 Hindernisse bei der Schlitzwandherstellung. Beseitigungsmaßnahmen und Auswirkungen auf Leistung und Kosten.....	15
2.4.1 Vorhandene Kanäle und Leitungen	15
2.4.2 Anthropogene Hindernisse und Baureste.....	23
2.4.3 Findlinge und natürliche Hindernisse	32
3 Pfähle	35
3.1 Vorwort / Allgemeines.....	35
3.2 Herstellungsverfahren.....	37
3.2.1 Verdrängungspfähle.....	37
3.2.1.1 Vorgefertigte Rammpfähle.....	37

3.2.1.2	Ortbeton - Ramppfähle.....	37
3.2.1.3	Verpreßpfähle	38
3.2.1.4	Schraubbohrpfähle	39
3.2.2	Bohrpfähle.....	40
3.2.2.1	Großbohrpfähle.....	40
3.2.2.2	Verpreßpfähle mit kleinem Durchmesser	44
3.2.3	Vor – und Nachteile bei der Herstellung von Bohrpfählen und Verdrängungspfählen	46
3.3	<i>Bohrpfahlwände</i>	47
3.4	<i>Hindernisse bei der Herstellung von Bohrpfählen</i>	51
3.5	<i>Schadensfälle an Pfählen</i>	52
3.5.1	Schadensursachen	52
3.5.2	Fehlerquellen	53
3.5.3	Fehler an Pfählen	54
3.5.3.1	Fehler am Pfahlfuß.....	54
3.5.3.2	Fehler am Pfahlschaft.....	55
3.5.3.3	Fehler am Pfahlkopf	56
3.5.4	Beispiele an Schadensfällen bei der Pfahlherstellung – Auswirkungen auf Leistung und Kosten.....	57
3.5.4.1	Beispiel : Baugrunderkundung	57
3.5.4.2	Beispiel : Inkorrekt gearbeiteter Bewehrungskorb.....	57
3.5.4.3	Beispiel : Schadensfälle am Gerätepark.....	67
3.5.4.4	Beispiel : Bauausführung – Gleichgewichtsbedingungen nicht beachtet.....	67
4	Spundwand	68
4.1	<i>Allgemeines</i>	68
4.2	<i>Verfahrenstechnik</i>	69
4.2.1	Spundwandprofile.....	69
4.2.2	Geräte und Verfahren.....	70
4.2.2.1	Schlagendes Rammen.....	70
4.2.2.2	Rütteln (Vibrieren)	71
4.2.2.3	Impulsrammen	72
4.2.2.4	Einpressen	72
4.2.2.5	Hilfsgeräte für die Ausführung von Rammarbeiten.....	73
4.2.2.6	Lärmschutzmaßnahmen.....	73
4.3	<i>Rammhilfen</i>	74

4.4 Hindernisse beim Spundwandverfahren.....	75
4.4.1 Voreilen der Bohlen	75
4.4.2 Aus dem Schloss Springen	77
4.4.2 Nacheilen der Bohlen	77
4.4.3 Neigung der Spundbohlen senkrecht zur Rammrichtung.....	78
4.4.4 Deformierung der Spundbohlenköpfe.....	78
4.4.5 Mitziehen der Nachbarbohlen.....	79
4.4.6 Korrosion	80
4.4.7 Korrosionsschutz	81
5 Injektionen.....	87
5.1 Vorwort.....	87
5.2 Injektionsverfahren	89
5.2.1 Feststoff-Injektionen	89
5.2.2 Chemische Injektionen.....	89
5.2.3 Kunstharzinjektionen.....	90
5.3 Ausführung von Feststoff-und Chemikalinjektionen	90
5.3.1 Herstellung der Bohrlöcher.....	91
5.3.2 Einbau der Injektionsrohre	91
5.3.3 Einpressen	92
5.3.4 Anmischen des Verpreßmittels.....	93
5.4 Hindernisse bei der Ausführung von Injektionen-Auswirkung auf Leistung und Kosten.....	93
5.4.1 Hindernisse beim Herstellen der Bohrlöcher.....	93
5.4.1.1 Hindernisse beim Drehbohren.....	94
5.4.1.2 Hindernisse beim Schlagbohren	95
5.4.1.3 Kohäsionsloser Boden	95
5.4.2 Bohrlochabweichung.....	96
5.4.3 Hindernisse beim Herstellen des Einpreßkörpers	96
6 Düsenstrahlverfahren.....	105
6.1 Allgemeines.....	105
6.2 Verfahren.....	107
6.2.1 Das Soilcrete – Verfahren	107
6.2.2 HDI – Verfahren.....	108

<i>6.3 Planung und Ausführung von Düsenstrahlarbeiten</i>	110
6.3.1 Ausführungsverfahren für Düsenstrahlsäulen.....	111
6.3.2 Ausführungsverfahren für Düsenstrahllamellen.....	112
6.3.3 Andere Ausführungsverfahren.....	112
<i>6.4 Hindernisse im Düsenstrahlverfahren - Auswirkungen auf Leistung und Kosten</i>	112
6.4.1 Geotechnische Hindernisse.....	112
7 Zusammenfassung	115
Quellenverzeichnis	117
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	118

Abkürzungsverzeichnis

AV.....	Abschreibung und Verzinsung
AT.....	Arbeitstag
BGL.....	Baugeräteliste
ca.....	circa
d.h.....	das heißt
ev.....	eventuell
EN.....	Euro Norm
GW.....	Grundwasser
HDI.....	Hochdruck-Injektionsverfahren
MLK.....	Mittellohnkosten
MV.....	Müller-Verpresspfahl
usw.....	und so weiter
z.B.....	zum Beispiel

1 Einleitung

Für die Lösung einer Bauaufgabe steht der Bauingenieur vor zwei großen Anforderungen. Die erste Anforderung ist ein qualitativ hochwertiges und bemerkenswertes Bauprojekt zu erstellen, die andere einen wirtschaftlich und zeitlich optimalen Baubetrieb zu gewährleisten. Als Bauprojekt wird die gemeinsame Arbeit von Projektanten und ausführenden Personal verstanden.

In der heutigen Zeit stehen die Bauunternehmen unter großem Wettbewerbsdruck ein kostengünstiges und zeitlich optimales Angebot den Auftraggeber abzugeben. Da sich die Preise auf dem Markt häufig ändern, muss ein Angebot unter teilweise hohem Risiko kalkuliert werden. Der Baubetrieb kann auch durch viele Hindernisse beeinträchtigt werden, die die Leistung reduzieren. Ein Hindernis ist *„ein Gegenstand oder eine Tatsache, das ein Weiterkommen oder eine Entwicklung behindert“*.¹

Bei unterirdischen Arbeiten ist die Situation schwierig einzuschätzen. Trotz modernen Stand der Technik, treten Hindernisse unerwartet auf und die Beseitigungsmaßnahmen können erheblich teuer und leistungsbehindernd sein.

Ziel dieser Diplomarbeit ist die Beschreibung der Hindernisse im Spezialtiefbau und deren Auswirkungen auf Leistung und Kosten.

Zu dem Spezialtiefbau gehören Verfahren und Methoden, deren Ausführung mit speziellen Kenntnissen und Maschinen verbunden sind und über deren Risiken nur spezialisierte Unternehmen bescheid wissen.

*„Dem Spezialtiefbau werden etwa Techniken zur Erstellung von Bohrpfählen, Schlitzwänden und Baugrubenwänden, Hochdruckinjektionsverfahren sowie Böschungs- und Hangsicherungsverfahren zugerechnet.“*²

Diese Arbeit beinhaltet das Schlitzwandverfahren, die Pfahlherstellung, das Spundwandverfahren, das Injektionsverfahren und das Düsenstrahlverfahren. Es werden die wichtigsten Eigenschaften und Daten der Methoden, die Verfahrenstechnik, die bedeutendsten Arten von Hindernissen in Beispielen gezeigt und deren Auswirkungen auf Leistung und Kosten ermittelt.

¹ Vgl. <http://de.wiktionary.org/wiki/Hindernis>

² <http://de.wikipedia.org/wiki/Spezialtiefbau>

2 Schlitzwände

2.1 Allgemeines

„Schlitzwände sind Wände im Untergrund aus Stahlbeton, Beton oder anderen vornehmlich zementgebundenen Stoffen, die statisch tragende und/oder abdichtende und/oder abschirmende Funktion haben und die sich sowohl für temporäre (Bauhilfskonstruktionen) als auch für permanente (endgültiges Bauwerksbestandteil) Zwecke eignen.“³

Sie werden in flüssigkeitsgestützten Erdschlitz hergestellt. Die Wände bestehen aus einzelnen Elementen (Lamellen), die aneinander gereiht werden. Der bereits ausgehobene Boden wird dabei durch die stützende Flüssigkeit ersetzt. Die üblichen Abmessungen einer Lamelle sind in Tabelle 1. dargestellt.

	min. Wert	max. Wert
	[m]	[m]
Länge	2,20	4,20
Dicke	0,40	1,20

Tabelle 1: Übliche Abmessungen einzelner Schlitzwandlamellen [11]

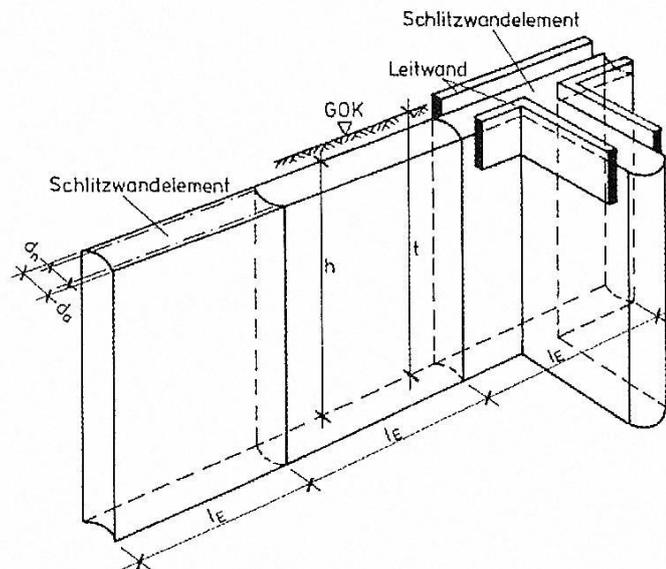


Abb. 1 Schlitzwandelemente [17]

Die maximale Tiefe einer Schlitzwand ist bei ca. 150 Meter erreicht. Das Schlitzwandverfahren ist in fast allen Bodenarten anwendbar. Es ist nicht geeignet bei sehr durchlässigen Auffüllungen, im Festgestein und bei organischen Säuren im Grundwasser.

³ Triantafyllidis 2004, S.8.

Schlitzwände werden besonders zur Sicherung von Baugruben und Schächten in den innerstädtischen Bereichen, bei statisch horizontal und vertikal belasteten Gründungselementen und zur Abdichtung des Untergrundes, wie z.B. unter Staudämmen angewendet.

Die wichtigsten Vorteile einer Schlitzwand sind :

- Wirtschaftlichkeit – sie kann als Bestandteil der Gebäude verwendet werden und somit neben den horizontalen auch sehr hohe vertikale Lasten abtragen.
- Sicherheit - bei Tiefen grösser als 25 m ist die Schlitzwand konkurrenzlos
- Wasserdichtigkeit
- Geringe Verformung
- Große Leistung – kürzere Bauzeit im Vergleich mit anderen Spezialtiefbauverfahren
- Platzsparend – in der Nähe von Gebäuden errichtbar

Die Nachteile sind :

- Großer Materialverbrauch
- Aussparungen für vorherig bestehende Leitungen und Kanäle

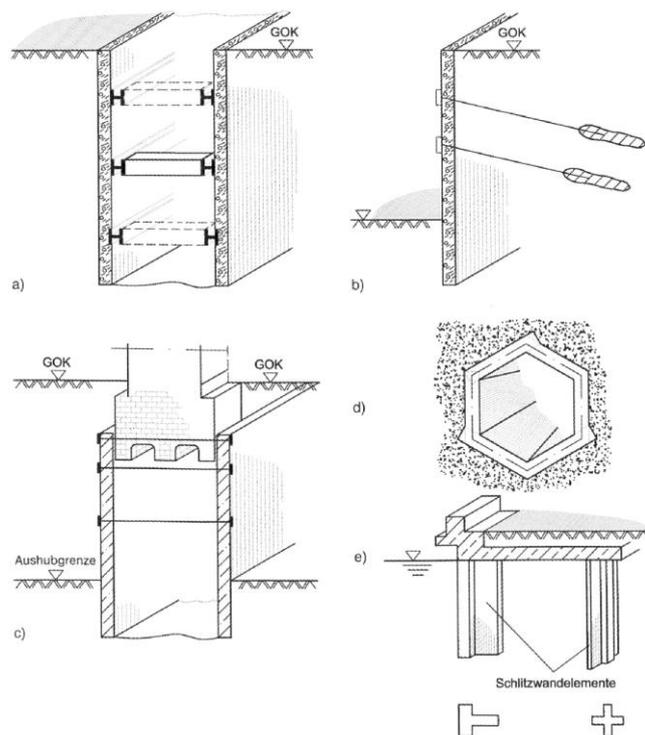


Abb. 2 Anwendungsbeispiele für Schlitzwände [17]

- a) Tunnel in offener Bauweise
- b) rückverankerte Verbauwand einer Baugrube
- c) Uferfangungen von Gebäuden
- d) Schacht mit Schlitzwandelementen
- e) Schlitzwandelemente für die Gründung einer Pier-Konstruktion

2.2 Verfahren zur Schlitzwandherstellung

Die Schlitzwände sind durch zwei wichtige Merkmale in einige Kategorien eingeteilt. Nach der Art des Lösens und Förderns des Bodens werden sie als gegreiferte oder gefräste bezeichnet. Nach dem System der Herstellung und des Baustoffes unterscheidet man :

- Zweiphasen – Verfahren
- Einphasen – Verfahren
- Kombinations – Verfahren

2.2.1 Zweiphasen – Verfahren

Das Zweiphasen – Verfahren findet sein Einsatzgebiet bei der Herstellung von bewehrten und unbewehrten Ortbeton – Schlitzwänden. Die Wand wird Blockweise errichtet und die einzelnen Lamellen werden mittels Abschalelementen voneinander getrennt. Die erste Phase des Herstellungsprozesses umfängt den Bodenaushub, der von einer nicht selbst erhärtenden Stützflüssigkeit ersetzt wird. Diese Stützflüssigkeit wird üblicherweise aus Wasser und einer Ton-(Bentonit)-Suspension oder anderen Fertigmischungen aus Bentonit und Polymer - Suspensionen vorbereitet. Nach dem Erreichen der Endtiefe werden die Abschalelemente oder die Bewehrungskörbe eingesetzt. Mittels Kontraktorverfahren wird Beton eingebracht und die Stützflüssigkeit von unten nach oben verdrängt und somit ausgetauscht (2.Phase). Der Aushub kann mittels Greiferwerkzeugen und auch Fräsewerkzeugen durchgeführt werden.

Der Arbeitsverlauf kann folgenderweise gegliedert werden:

1. Errichtung der Leitwand
2. Herstellung des flüssigkeitsgestützten Schlitzes
3. Regenerierung der Stützflüssigkeit
4. Einbringen der Abschalelemente
5. Einbringen der Bewehrung
6. Betonieren – nach Kontraktorverfahren
7. Entfernen der Abschalrohre – mittels hydraulischen Ziehpressen, nach dem Erstarrungsbeginn des Betons

2.2.2 Einphasen - Verfahren

Der Unterschied zwischen Einphasen – und Zweiphasen – Verfahren besteht darin, dass bei dem Einphasen - Verfahren die Suspension nicht ausgetauscht wird.

“In diesem Fall wird als Stützflüssigkeit eine verzögernd erhärtete Suspension auf Zementbasis mit möglichen Beimischungen von Tonen (z.B. Bentoniten), Flugaschen, Steinmehl u. ä verwendet“⁴

Die einzelne Schlitzwandlamelle wird nach dem Erreichen der Endtiefe errichtet. Der Einsatz dieses Verfahrens ist von der Erstarrungszeit der Suspension abhängig. In der Regel ist die Verarbeitungszeit bei der Verwendung von Standardmischungen ca. 10 Stunden, die mittels Verzögerer geringfügig verlängert werden kann. Bei diesem Verfahren muss berücksichtigt werden, dass Hindernisse oder Ausfälle der mechanischen Einrichtungen eine katastrophale Nachfolge haben können, z.B ein Aushubgerät kann nur schwer „befreit“ werden. Bei der Verwendung des Einphasen – Verfahrens können bewehrte Schlitzwände nur mittels Fertigteilen hergestellt werden. Sie werden mit Hilfe eines Kranes in den Schlitz hineingebracht und auf die Leitwand gelegt. Üblicherweise ist das Einphasen – Verfahren wirtschaftlicher als das Zweiphasen – Verfahren. Es ist aber nicht anwendbar bei großen Tiefen und hat als Nachfolge eine erhöhte Abnutzung der Geräte. Ein anderer Nachteil ist die Unmöglichkeit es als Gründungselement zu verwenden.

2.2.3 Kombinations – Verfahren

Das Kombinations – Verfahren unterscheidet sich in der Regel beim Aushub nicht von dem Einphasen – Verfahren. Das Konzept beruht darauf, dass nach dem Erreichen der Endtiefe und vor der Erstarrung der Suspension dichtende Wandelemente eingebaut werden. Besonders großer Einsatz in der Praxis findet die Schlitzdichtwand mit eingestellter Spundwand. Sie wird verwendet, wenn die Schlitzwand nicht nur dichtende, sondern auch statische Funktion haben muss. Die notwendige Tragfähigkeit der Schlitzwand wird mittels Einbringen von einer Stahlspundwand bis zur erforderlichen statischen Tiefe erreicht. Für anschließend tragende Bodenschichten oder Injektionssohlen wird nur die Schlitzwand beansprucht, aber es muss den Nachweis für die Kraftübertragung, Verformung und Rissbildung erbracht werden.

Eine andere Art des Kombinations – Verfahrens ist die Kombinierte – Schlitzdichtwand. Bei Mülldeponien, Raffinerien und Öllager, wo Grundwasserschutz erforderlich ist, sind diese besonders gut geeignet. Die Besonderheit dieses Verfahrens ist die Verwendung von HPDE – Folien zur Beseitigung der Diffusion von chemischen Stoffen.

2.3 Herstellungsphasen

Die Herstellung einer Schlitzwand umfasst folgende wichtige Schritte.

⁴ Triantafyllidis 2004,S.21.

2.3.1 Vorarbeiten

Die Erstellung einer Schlitzwand durch Hindernisse ist besonders problematisch. Wegen diesem Grund ist bei der Planung eine Berücksichtigung aller möglichen Besonderheiten der Trasse und Geologie, wie Leitungen, Kanäle, Fundamentreste und tiefliegende Hindernisse notwendig. Das Antreffen eines unerwarteten Hindernisses ist nicht nur kostspielig, sondern kann auch katastrophale Nachfolgen mit sich führen. Hindernisse und deren Beseitigungsmaßnahmen haben große negative Auswirkungen auf Leistung und Kosten des Baubetriebes.

2.3.2 Herstellung der Leitwand

Eine der wichtigsten Phasen bei der Herstellung einer Schlitzwand ist der Bau der Leitwand. Sie ist Voraussetzung und Ursache für das Erreichen einer hochwertigen, glatten und geradlinigen Wand. Diese hat folgende Funktionen :

- Aufnahme des Erddruckes im oberen Bereich der Wand
- Führung der Aushubgeräte
- Sicherung der Wandsatzlinie im Grundriss
- Kontrolle und Niveauhaltung der stützenden Flüssigkeit
- Stütze bei der Einführung der Bewehrungskörbe in den Schlitz und Ziehen der Abschalelemente

Die Leitwand wird üblicherweise aus Stahlbeton mit einer Höhe von 1,2 bis 1,5 m, in einem Graben errichtet (siehe Abb. 3). Bevor der Aushubprozess beginnt, ist es sinnvoll die Achse der Wand festzustellen. Beideseitig parallel zu dieser Achse läuft die Standachse, die als Bezugsgerade für den Aushub und für das Errichten der Schalung dient. Diese Schalung kann im Bezug auf die Bodenverhältnisse einseitig oder zweiseitig sein. Der Abstand der Leitwände ist abhängig von der Breite des Aushubgerätes, die der späteren Nenndicke der Schlitzwand gleich ist.

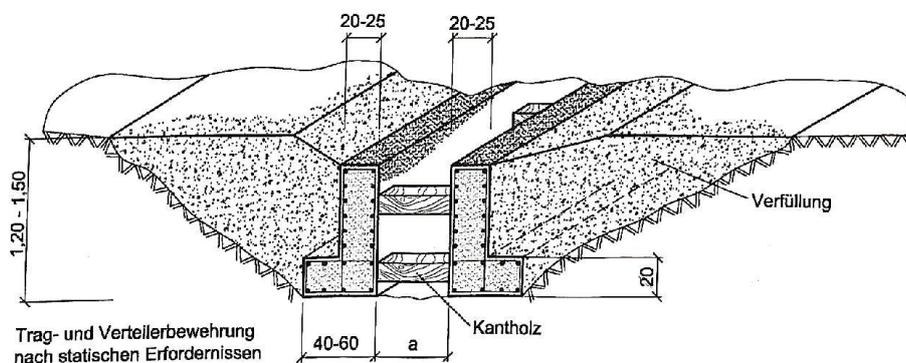


Abb. 3 Leitwand in einem nicht standfestem Boden hergestellt mit einer doppelten Schalung [17]

Die lichte Weite a zwischen den Leitwänden muss die problemlose Tätigkeit der Aushubmaschine gewährleisten.

$$a = \text{Nennstärke } dn \text{ der Schlitzwand} + 5 \text{ cm} \quad ^5$$

Die Leitwände sind wie Winkelstützwände errichtet, wenn kein standfester Boden vorhanden ist. Die Oberkante der Leitwand soll obligatorisch horizontal und eben verlaufen, um ein leichteres Positionieren der Pressen zum Ziehen der Abschalkonstruktionen zu schaffen.

Bei der Leitwanderrichtung werden auch andere Materialien verwendet, wie H – Profile, Stahl, Holz usw. Abhängig von den Natur-, Gelände- oder Bodenverhältnissen gibt es auch Sonderformen von Leitwänden. Sie können treppenartig sein oder es können auch Kellerwände der Nachbarbebauung zum Einsatz kommen.

2.3.3 Aushub

Der Boden zwischen den beiden Leitwänden wird unter dauernder Zufuhr der Stützflüssigkeit entfernt. Dazu dienen speziell konzipierte Geräte wie Greifer (mechanisch oder hydraulisch angetrieben) oder Fräsen (hydraulisch angetrieben). Der Aushub kann demnach als intermittierend (Greifer) oder kontinuierlich (Fräse) bezeichnet werden.

Die Trennung von Aushubmaterial und Suspension bei dem intermittierenden Prozess erfolgt in der Regel durch das Abfließen der Suspension von dem Greifer. Dieses Verfahren hat den Nachteil, dass das Aushubmaterial verunreinigt und nicht leicht zu deponieren ist. Bei der Verwendung der Fräse hat die Suspension nicht nur eine stützende, sondern auch eine Transportfunktion. Hierfür sind besonders aufwendige Anlagen wie Regenerations,- oder Entsandungsanlagen notwendig, die zur Trennung, der mit Aushubmaterial vermischten Suspension dienen.

Die Wahl eines Aushubverfahrens bei der die Schlitzwandaufgabe kostengünstig und zeitlich optimal gelöst werden muss, ist eine der wichtigsten Fragen. Um die Verwendung eines Verfahrens zu entscheiden, müssen immer alle baubetrieblichen, bautechnischen und geotechnischen Bedingungen berücksichtigt werden.

Unter folgenden Bedingungen ist das Einsatzgebiet einer Fräse wirtschaftlich und vorteilhaft:

- Schlitzwandtiefe grösser als 50 m und Schlitzwandfläche mehr als 7500 m²
- Homogener Bodenaufbau
- Mangel an Hindernissen
- Ausreichender Platz für die Baustelleneinrichtungen und logistischen Tätigkeiten

Die Verwendung der Fräseeinrichtung ab ca. 50 m Tiefe ist immer rentabler, als die Verwendung des Greifers, weil die jeweilige Greiferfahrt viel mehr Zeit beansprucht im Vergleich mit der notwendigen Zeit für das Lösen des Bodens. Die 7500 m² Wandfläche

⁵ Triantafyllidis 2004, S. 29.

dient als Wirtschaftlichkeitsgrenze. Man hat errechnet, dass die Mobilisierungskosten der Fräse nur ab diesem Wert sinnvoll sind.

Falls unterschiedliche Bodenschichten vorhanden sind, ist ein häufiges Wechseln des Fräsekopfes notwendig, der zum optimalen Betrieb mit anderen Zähnen ausgerüstet sein muss. Kombination von verschiedenen Zähnen, die sowohl im rolligen wie auch im bindigen Boden einsetzbar sind, ist üblicherweise nur ein Kompromiss und hat keine besonders große Leistungsfähigkeit. Das Belassen der Zähne oder das Spülen beim Aufkleben des Bodenmaterials ist eine mögliche, aber auch nicht sehr effektive Entscheidung. Bei großen Hindernissen ist es erforderlich, entweder auf ein anderes Trägergerät mit Meißel zu wechseln oder mit einem neuen Zahnbesatz zu arbeiten.

Die notwendige maschinelle Ausrüstung für Bentonitbevorratung, Entsandungsanlage, Pumpanlagen, Silos, die Verkehrswege für Versorgung und Entsorgung in der Grenzen der Baustelle beträgt üblicherweise ca. 250 m². Bei leistungsfähigen Fräsebaustellen muss für diese Baustelleneinrichtung ein Platz von 500 m² zur Verfügung stehen. Diese Anlagen brauchen ein vorbereitetes Planum und dürfen den Baubetrieb nicht beeinträchtigen. Am besten sind jene Flächen, die keine Veränderung der Position der Anlage verlangen. Eine Veränderung der Position der Anlage hat als Nachteil neue Abbruch-, Entsorgungs-, Planumstellungs- und Umsetzkosten, die die Fräsleistung reduzieren.

Deshalb ist ausreichender Platz für die Baustelleneinrichtungen und logistische Tätigkeiten besonders erforderlich.

Die wichtigsten Vorteile des Fräsverfahrens hat Theodoros Triantafyllidis in seinem Buch „Planung und Bauausführung im Spezialtiefbau“ wie folgt formuliert : „(...)

- *Sehr hohe Leistungsfähigkeit bei homogenen Boden*
- *Sehr hohe erreichbare Tiefen ($t > 100$ m)*
- *Entsorgung des Materials günstig bei großen Baustellen aufgrund der Separation vor Ort (Entsorgung des Bentonits)*
- *Überschneidungen bei Nachbarlamellen (-elementen) möglich (bessere Führung, direkter Anschluss an Primärlamellen, bessere Fugenausbildung (...)*⁶

⁶ Triantafyllidis 2004.

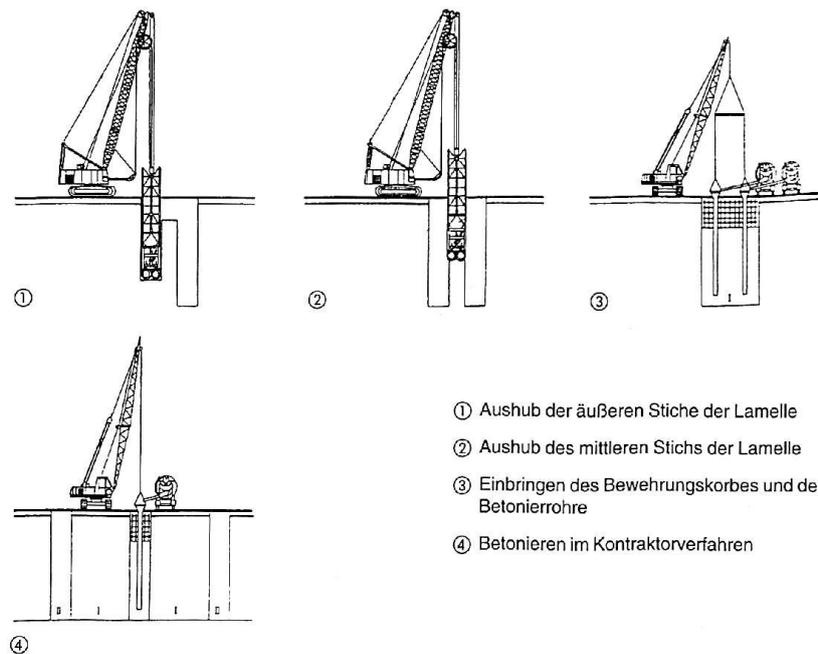


Abb. 4 Arbeitsablauf beim Herstellen einer mit der Fräse ausgeführten gegriffenen Schlitzwand [17]

Bei dem Greiferverfahren unterscheidet man den mechanischen Schlitzwandgreifer, der zuerst erfunden wurde, vom hydraulischen Schlitzwandgreifer. Zurzeit werden beide Verfahren eingesetzt, obwohl der hydraulische eigentlich neuer und leistungsfähiger ist.

Der hydraulische Greifer wird in der Regel dort verwendet, wo zum Reißen von harten Böden oder sehr dicht gelagerten Böden hohe Schließkräfte erforderlich sind. In solchen Fällen benötigt er weniger Zeit zum Lösen als der mechanische Greifer. Wenn weich bis steif bindige Böden oder Hindernisse vorhanden sind, ist der Einsatz von mechanischen Greifer effektiver. Die Hindernisse werden durch das mehrfache Öffnen und Schließen des Greifers bewegt und stückweise gelöst. Ein Grund den mechanischen Greifer zu verwenden ist, dass er innerhalb eines vertretbaren Zeitbedürfnisses kostengünstig und zielführend ist. Üblicherweise ist die Verwendung des Hydraulikgreifers dann zweckmäßig, wenn es um den Aushub von harten und sehr dicht gelagerten Böden und ohne Hindernisse geht.

Die wesentliche Vorteile des Greiferverfahrens sind :

- Geringer Platzbedarf
- Günstige Baustelleneinrichtung
- Ergiebig bei Wandflächen bis zu 7500 m^2 , Tiefen bis 40 m und inhomogenen Bodenverhältnissen
- Leichter Wechsel zwischen Greifer und Meißel, wenn Hindernisse anwesend sind, möglich

„Beim Auftreten von Hindernissen während des Aushubs, beim Einbinden von Schlitzwänden im Fels oder für das Auflockern von harten oder dicht gelagerten Bodenschichten wird der Einsatz des Meißels notwendig.“⁷

Meißelarten, die meistens verwendet werden, sind Schlitzzahnmeißel und Felsmeißel. Der Schlitzzahnmeißel ist für die Meißelarbeit in weichem Fels oder zum Auflockern von harten oder sehr dicht gelagerten Bodenschichten gut geeignet. Die Felsmeißel haben ein 1,8 – 2,0 – fach höheres Gewicht als die Schlitzzahnmeißel und werden für sehr harten Fels verwendet.

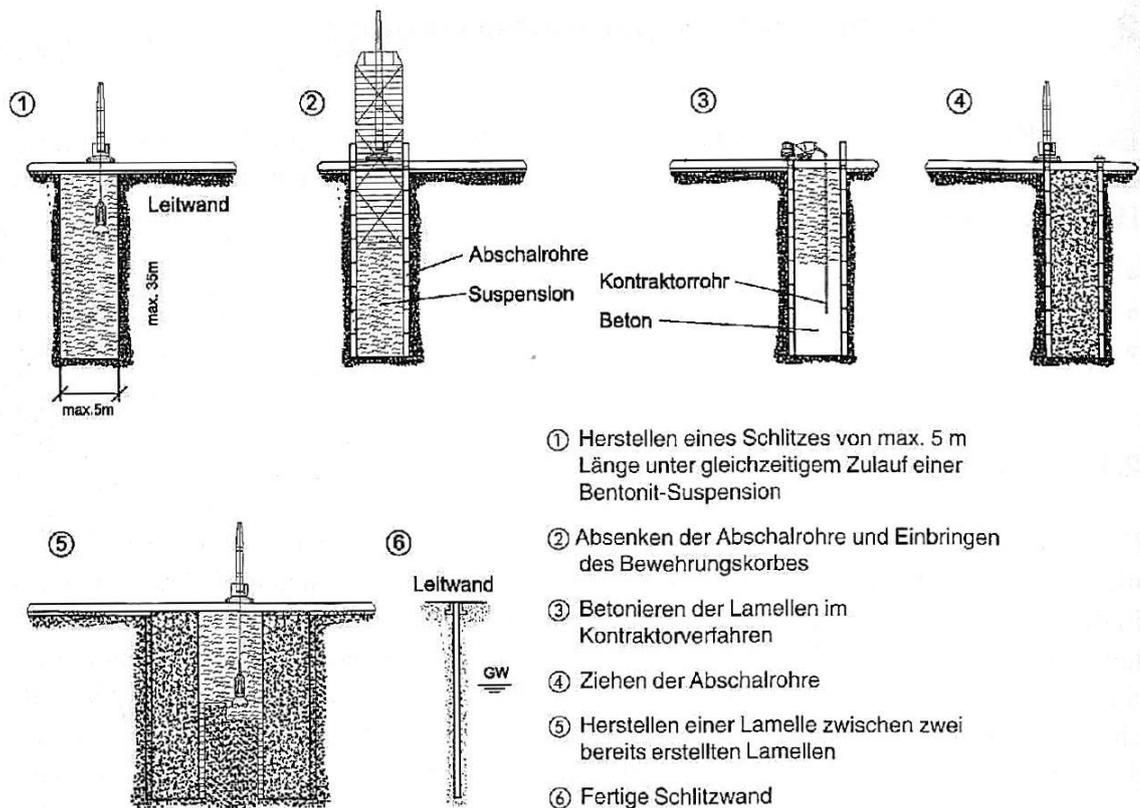


Abb. 5 Arbeitslauf beim Herstellen einer Schlitzwand mittels Geißerverfahren [17]

2.3.4 Stützflüssigkeiten

Als stützendes Mittel offener Schlitzte kommen üblicherweise Tonsuspensionen (Bentonitsuspensionen) zur Anwendung. In Extremfällen bestehen sie aus Wasser oder aus Polymeren. Wegen der höheren Preise, Verlust an Stabilität bei einer starken GW – Strömung und Lösbarkeit im Grundwasser ist der Einsatz von Polymeren beschränkt.

Bei der Bentonitsuspension beträgt das Bentonitpulver 3 bis 6% des Suspensionsgewichtes und wird mit Wasser aufgemischt. Suspension benennt man die Flüssigkeit (Wasser) und die in Dispersion befindlichen Partikel. Das Bentonitpulver löst sich im

⁷ Triantafyllidis 2004.

Wasser vergleichbar wie Salze. Die wichtigste Eigenschaft der Bentonitsuspensionen ist die Thixotropie. Unter Thixotropie versteht man die Eigenschaft der Suspension eine gelartige Konsistenz zu erlangen, solange sie in Ruhezustand ist. Wenn sie gerührt oder umgeformt wird, verliert sie die Versteifung und verflüssigt sich. Das Bentonit ist aus Mineralien wie Montmorillonit (Hauptmineral) und Quarz, Feldspat, Glimmer, Pyrit usw. zusammengesetzt.

Die Aufgaben, die eine stützende Flüssigkeit in einem offenen Schlitz zu gewährleisten hat, sind verschiedenartig. In der Regel steht sie mit den vorhandenen Bodenverhältnissen in einer engen Beziehung und verhält sich teilweise gegenläufig. Deshalb müssen sie in festen Grenzen gehalten und kontrolliert werden. Die Ausbildung eines Filterkuchens zur Übertragung des Suspensionsdrucks auf dem Boden ist ein sicherer Nachweis, dass der Boden die notwendige Undurchlässigkeit hat, damit die stützende Flüssigkeit nicht verschwinden kann. Bei dem Vorhandensein von groben Materialien wird Sand zur stützenden Flüssigkeit zugegeben. Auf diese Weise werden die groben Poren an der Schlitzwandung mit Sand gefüllt und es bildet sich die Filterkuchen – Membran. Bei rein bindigen Böden bildet das Bodenmaterial selbst eine solche Membran. Die Stützflüssigkeit muss auch die innere Stabilität sichern, d.h sie muss auch eine stützende Kraft auf die Einzelkörner ausüben, damit die Kornfraktionen nicht herausgelöst werden können. Die Stabilität der Suspension ist auch eine wichtige Eigenschaft, die von der Bildung des Filterkuchens und der Abgabe des Filtratwassers abhängig ist. Verunreinigungen wie Zement, verschiedene Salze und Säure im Boden beeinflussen stark die Stabilität der Suspension. Bei außerordentlichen Bedingungen kann man spezielle Zusätze dem Bentonit zugeben oder spezielle Bentonite verwenden. Die Scherspannung τ , bei deren Überschreitung das Fließen der Stützflüssigkeit eintritt, bestimmt man als Fließgrenze. Nach der Überschreitung dieser Grenze wechselt die stützende Flüssigkeit ihr Verhalten von fest zu flüssig.

25 kg Bentonit kann man mit maximal 800 – 850 Liter Wasser zusammenmischen.

Die Dichte der stützenden Flüssigkeit muss nicht grösser als :

$$\rho = \rho_F + 0,14 \cdot (\rho_S - \rho_F) \quad \text{wobei :}$$

ρ_F - Dichte der stützenden Flüssigkeit

ρ_S - Korndichte des Bodens und des Füllstoffes

sind.

2.3.5 Bewehren

Das Bewehren beginnt nach dem Aushub der Schlitzwandelemente und der Positionierung der Abschalkonstruktionen, die zur seitlichen Begrenzung des zu betonierenden Schlitzes dienen. Zuvor muss die stützende Flüssigkeit homogenisiert

werden. Üblicherweise kommen Bewehrungskörbe zum Einsatz. Sie sind so ausgesteift, dass sie verformungsarm in die Schlitze eingebracht werden können. Am Kopf des Korbes wird ein Aussteifungsrahmen, der aus Winkeleisen hergestellt ist, an die Längseisen angeschweißt. An diesen Eisen wird das Seilgehänge zum Einbringen des Bewehrungskorbes angebracht. Andere Aussteifungselemente sind Aussteifungskreuze, die an mehreren Höhen platziert werden können. Sie sind mit der Vertikal – und Horizontalbewehrung verbunden. Abstandhalter sind über die Schlitzlänge und Höhe zwischen den Bewehrungslagen montiert.

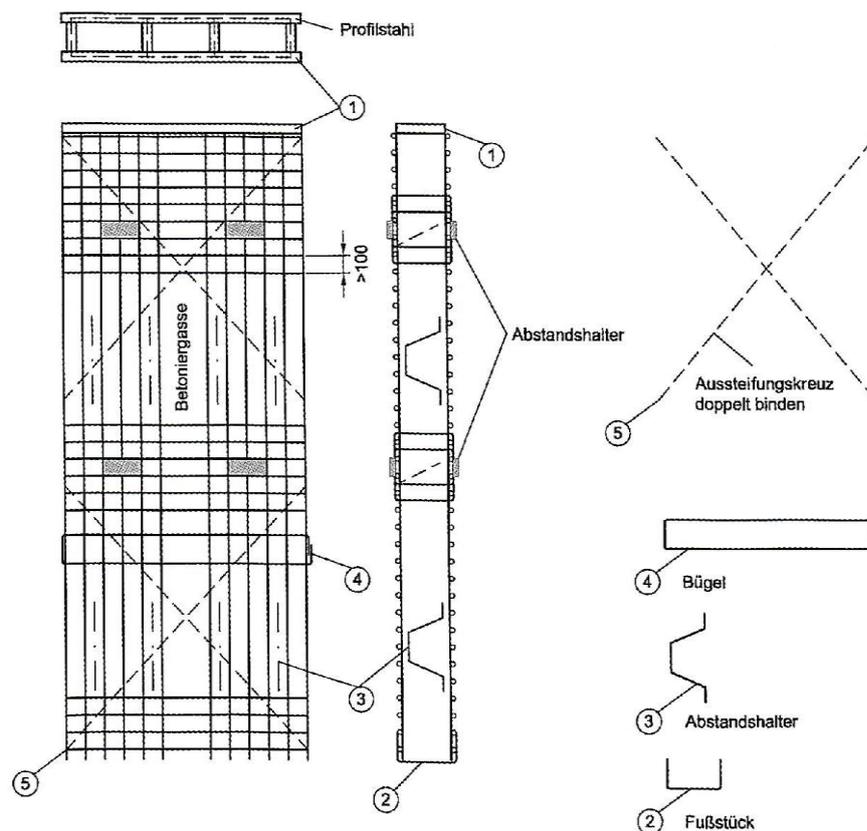


Abb. 6 Aussteifung eines Schlitzwand-Bewehrungskorbes [17]

2.3.6 Betonieren

Das Betonieren ist einer der wichtigsten Prozesse bei der Herstellung einer Schlitzwand. Es erfolgt im Kontraktorverfahren mit der Hilfe von speziell dafür entwickelten Schüttröhre. Sie werden in Betonergassen eingesetzt, die von dem Bewehrungskorb freigehalten worden sind (siehe Abb. 7). Die Position dieser Betonergassen ist meistens an der Leitwand markiert, um Missfälle zu vermeiden. Dabei ist es wichtig, dass die Betonergassen frei von sämtlichen Hindernissen oder Einbauten sind. Das untere Ende des Schüttröhres befindet sich etwa 20 cm über der Schlitzwandsohle. Während des Betonierprozesses ist es allgemein gültig, dass die Schüttröhre so in dem Frischbeton

eingetaucht werden, wie die Länge des versorgten Abschnitts der Schlitzwand ist. Bei Schlitzwandelementen länger als 5 m, ist es ratsam und sinnvoll mit zwei oder mehreren Rohren gleichzeitig zu arbeiten. Die untere Grenze der Eintauchtiefe ist 3 m. Die Zahl der gleichzeitig wirkenden Schüttrohre ist abhängig nicht nur von der Länge des Schlitzwandelementes, sondern auch von der Viskosität und Fließeigenschaften des Betons. Bei der Herstellung von nicht ebenen oder Eckschlitzten kommen üblicherweise zwei Rohre zum Einsatz. Grundlegend für die Betonqualität der Schlitzwandlamelle ist die Verdrängung der Stützflüssigkeit durch Frischbeton. Diese Verdrängung erfolgt durch das Kontraktorverfahren, das aber bestimmte Anforderungen an den Betoneigenschaften, und insbesondere an das Fließvermögen stellt.

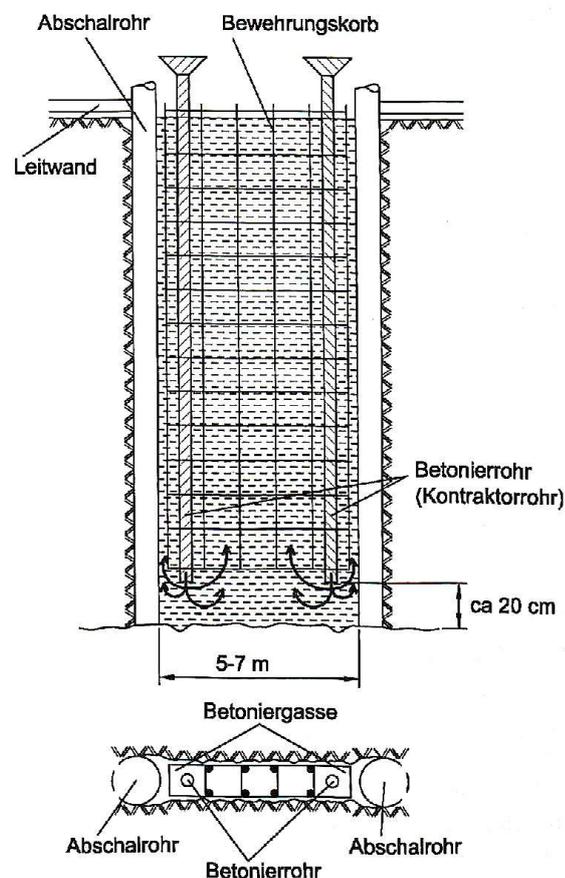


Abb. 7 Betonierrohre (Schüttrohre) in Betoniergassen [17]

Es ist besonders wichtig zu beachten, dass der Frischbeton nie durch die stützende Flüssigkeit gelangen darf. Das kann mittels folgender Handlungsweisen vermieden werden:

- Nichtaufsetzen des Schüttrohres auf die Schlitzsohle
- Verwenden von wasserdichten Kupplungen, die ein Eindringen der Stützflüssigkeit in das Betonierrohr nicht ermöglichen
- Verwendung eines Betonierballes

Der Beton läuft spiralförmig von dem Betoniertrichter in das Schüttrohr ein. Aufgrund seines Eigengewichtes drückt er den Betonierball nach unten, womit die im Schüttrohr sich befindende Stützflüssigkeit verdrängt wird. Wenn der Ball das untere Ende des Rohres erreicht hat, wird das Schüttrohr 20-30 cm angehoben um weiteren Betonfluss zu ermöglichen. Auf diese Weise wird der Ball aus dem Rohr getrieben. Um die minimale Eintauchtiefe in den Frischbeton nicht zu unterschreiten, wird ein großer Vorrat an Frischbeton verlangt. Das Abschlagen des Rohrschusses tritt dann ein, wenn aufgrund einer allzu großen Eintauchtiefe der Beton nicht mehr fließen kann.

Beim Betonieren mittels Kontraktorverfahren werden folgende Regeln beachtet :

- Betonierunterbrechungen über 15 Minuten sollen vermieden werden und solche über 30 Minuten sind unzulässig
- Mindeststeiggeschwindigkeit des Frischbetons 3 m/h
- Homogenisieren der stützenden Flüssigkeit vor dem Betonieren
- Rückverdichtung des Betons nicht erlaubt
- Vorhandensein von ausreichend großem Dichteunterschieds zwischen Stützflüssigkeit und Frischbeton
- Höheren Fließwiderstand des Betons gegenüber der Stützflüssigkeit

Das Verdichten von Beton erfolgt infolge seines Eigengewichtes. Wegen der Betonkonsistenz wird keine Rüttelverdichtung verwendet.

Die von Beton verdrängte Stützflüssigkeit, wird ausgepumpt.

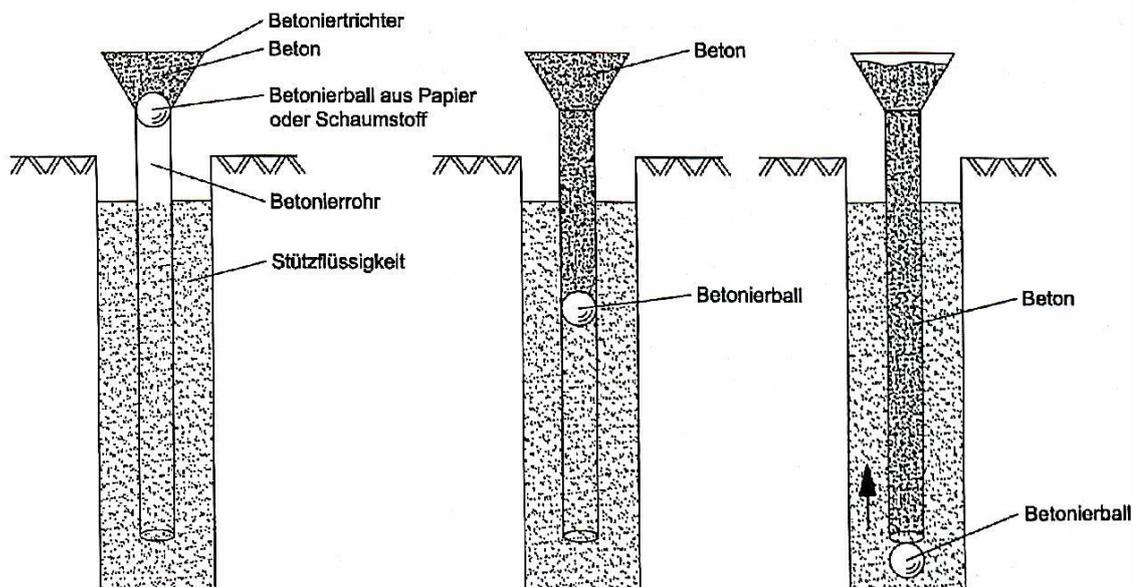


Abb. 8 Kontraktorverfahren mit dem Betonierball [17]

2.4 Hindernisse bei der Schlitzwandherstellung. Beseitigungsmaßnahmen und Auswirkungen auf Leistung und Kosten

2.4.1 Vorhandene Kanäle und Leitungen

Die Anwesenheit von Hindernissen bei der Schlitzwandherstellung ist besonders problematisch und kostspielig. Sie sind verschiedenartig und oft unerwartet. Um den Errichtungsprozess zu optimieren, ist es von großer Bedeutung, dass man alle ihre Eigenschaften kennt und die bestmögliche Variante und Maßnahme zu deren Beseitigung wählt.

Eines der größten Probleme bei dem Bau der Schlitzwände sind die vorhandenen Kanäle und Leitungen. Diejenigen, die die Schlitzwandtrasse kreuzen, müssen unbedingt während der Bauzeit umgeleitet werden. Zur Beseitigung solcher Probleme kommen verschiedene Methoden zum Einsatz, die sich in der Regel von dem üblichen Schlitzwandherstellungsverfahren unterscheiden. Die Tiefe und die Lage solcher Hindernisse sind bei der Vorarbeit normalerweise schon bestimmt. Es gibt aber auch solche Fälle, bei denen vorsichtige Sondierungen oder Detektoren verwendet werden, um die richtige Position zu untersuchen.

Die genaue Handlungsweise bei der Errichtung der Wand ist in Bezug auf die Ausdehnung der den Schlitz kreuzenden Leitungstrasse oder Kanal. Im Falle der Ausdehnung kleiner als 2 m, wird die Schlitzwand in diesem Bereich durchgehend hergestellt. Wenn diese Ausdehnung breiter als 2 m ist, muss die Lücke in der Wand durch einen örtlichen Holzverbau (in Abwesenheit von Grundwasser) oder mit einem Injektionskörper (beim Vorhandensein von Wasser) geschlossen werden.

Wenn der Injektionskörper eine dichtende Funktion hat, muss er so dimensioniert sein, dass der Wasser- und Erddruck auf die benachbarten Lamellen der Schlitzwand übertragen kann. Solch ein Injektionskörper muss nur für die vorgesehene Standzeit dimensioniert werden, wenn die Schlitzwand nur eine temporäre Bauhilfsfunktion hat. Falls die Wand als Bestandteil eines Bauwerkes verwendet wird, wird unterhalb der Leitungstrasse, im Rahmen des Aushubs, der Injektionskörper entfernt und durch Stahlbeton oder Spritzbeton ersetzt. Die Injektionskosten liegen in einer Größenordnung von 1 bis 10 €/l. Injektionsarbeiten verlangen auch ein hochqualifiziertes Personal und zusätzliche Einrichtungen. Aus diesem Grunde sind die Kosten bei diesem Verfahren sehr hoch. Die Leistung beim Injizieren beträgt 5 bis 10 l/min pro Pumpe, was den Schlitzwandherstellungsprozess deutlich verlangsamt. Die Sicherung mit Spritzbeton verlangt wie beim Injektionsverfahren auch spezielle Geräte und Personal, d.h. hohe Kosten und verminderte Leistung.

Zum Lösen des Bodens bei Kanälen breiter als 2 m wird üblicherweise das Düsenstrahlverfahren verwendet. Abhängig von der Art des Düsenstrahlverfahrens (simplex, duplex, triplex) und des Untergrundes können folgende Richtwerte für die Leistung und die Kosten gegeben werden:

Verfahren	Leistung [m ³ /h]	
	nicht bindig	bindig
Simplex	1,0 - 3,0	1,0 - 2,0
Duplex	2,0 - 5,0	1,0 - 3,0
Triplex	2,0 - 4,0	1,5 - 3,0

Tabelle 2 : Richtwerte für die Leistung des Düsenstrahlverfahrens [11]

Verfahren	Kosten [€/h]	
	nicht bindig	bindig
Simplex	200 - 600	300 - 800
Duplex	150 - 500	250 - 700
Triplex	150 - 400	250 - 600

Tabelle 3 : Richtwerte für die Kosten des Düsenstrahlverfahrens [11]

Bei bindigen Böden können Zusatzkosten von mindestens 250 €/m³ bei Verwendung des Duplexverfahrens entstehen. Wenn die notwendige maschinelle Einrichtung auf der Baustelle nicht vorhanden ist, entsteht nicht nur ein größerer Aufwand, sondern auch Beeinträchtigungen des gesamten Baubetriebes. Die Lieferzeit einer Düsenstrahlanlage beträgt ungefähr 1 Tag. Die Baustelleneneinrichtungszeit sowie die Zeit für Räumen der Baustelle wird ebenso mit 1 Tag abgeschätzt. Es müssen die Kosten für das speziell qualifizierte Personal berücksichtigt werden. Der Personalbedarf setzt sich wie folgt zusammen: 1 Bauleiter, 1 Maschinist an der Mischstation und der Hochdruckpumpe, 1 Maschinist, der das Bohrgerät bedient, 1 Helfer zur Unterstützung und Durchführung der Arbeiten.

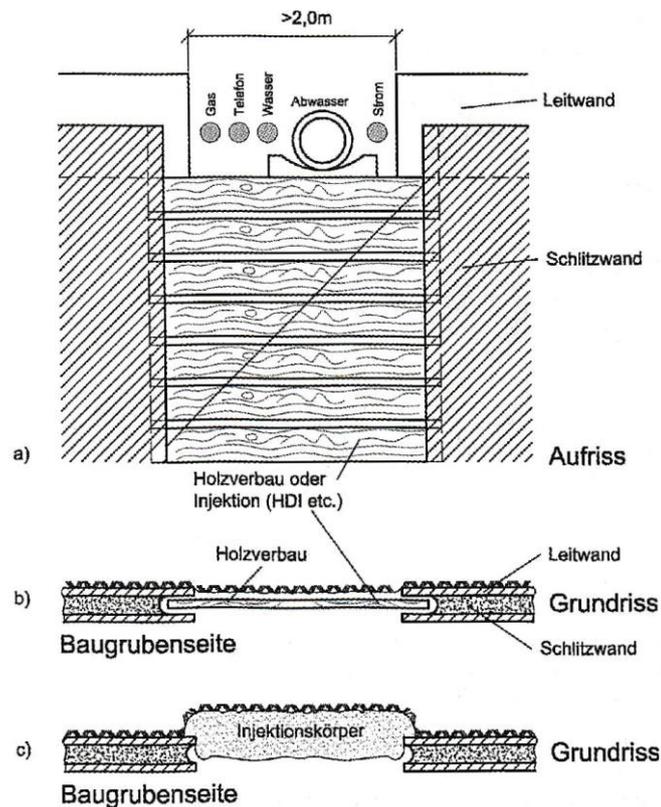


Abb. 9 a) Holzverbau – oder Injektionswand im Bereich von breiten Leitungstrassen
 b) Verbau für die Lücke
 c) mit Hilfe einer Injektionskörpers [17]

Bei einer Breite kleiner als 2 m oder bei nur vereinzelt Leitungen oder Kanälen, die die Schlitzwand kreuzen, können die Kanäle oder Leitungen untergriffen werden. Die Leitungen oder Kanäle werden während der Wandarbeiten freigelegt und mittels brückenartiger Ummantelungen zwischen den Leitwänden aufgefangen. Die Ummantelungen müssen die problemlose und sichere Arbeit der Aushubgeräte garantieren. Das Untergrreifen kann je nach der Hindernissbreite verschiedenartig durchgeführt werden. In der Regel unterscheidet man 2 Fälle:

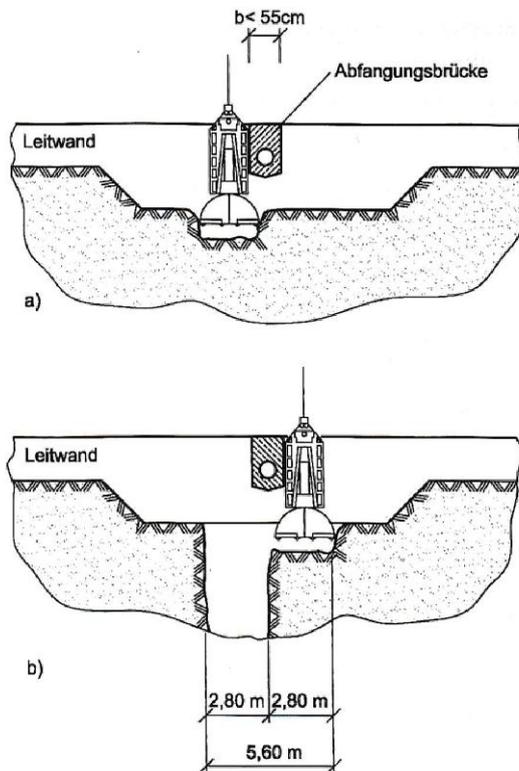
- Fall 1 – Hindernissbreite $b < 55$ cm
- Fall 2 – Hindernissbreite $55 \text{ cm} < b < 2$ m

Fall 1 – Hindernissbreite $b < 55$ cm

In diesem Fall wird der Leitungsblock untergriffen nur mittels des Breiteunterschieds zwischen geöffneten und geschlossenen Greifers. Erstens wird der Aushub mit einem hydraulischen Bagger bis zu der Unterkante der Leitung gestaltet. Danach kommt der Schlitzwandgreifer zum Einsatz, bei dem der Rahmen des Greifers parallel und fast gleitend

entlang der Abfangungsbrücke für die Leitungen betrieben wird. Die Greiferschalen werden erst nach dem Erreichen der Unterkante der Brücke geöffnet (siehe Abb. 10).

- Breite des Greifers bei geöffneten Schalen – ca. 2800 mm
- Breite des Greifers bei geschlossenen Schalen – ca. 2090 mm



Untergreifen eines Kanalstranges mit dem Schlitzwandgreifer bei Breiten $b < 55 \text{ cm}$ in zwei Schritten:
a) Führung des Greifers links vom Kanal und
b) rechts vom Kanal

Abb. 10 Untergreifen eines Kanalstranges [17]

In diesem Fall müssen die Kosten ca. 400 €/lfm für die Ummantelung der Leitungen oder der Kanäle berücksichtigt werden. Bei dem Wechsel vom hydraulischen Bagger zum Schlitzwandgreifer entsteht auch eine Zusatzzeit in der Größenordnung von 20-30 min. Auch die Leistung des Schlitzwandgreifers ($5\text{-}10 \text{ m}^3/\text{h}$) ist wegen der Vorsichtigkeit des Maschinisten mit ca. 30-40 % niedriger.

Fall 2 – Hindernissbreite $55 \text{ cm} < b < 2 \text{ m}$

Das Konzept des Untergreifens, das im Fall 1 verwendet wird, kann hier nicht eingesetzt werden. Der Ausgleich zwischen geöffneten und geschlossenen Greiferschalen ist nicht ausreichend um das Hindernis zu untergreifen.

Als erster Schritt in diesem Fall wird der Aushub, von einem 7 m tiefen Schlitz links und rechts der Ummantelung der Kanäle, bezeichnet. Die jeweilige Schlitzbreite ist vom Aushubwerkzeug abhängig. Man kann verschiedene Aushubwerkzeuge benutzen :

- Tieflöffelbagger mit speziellem Arm
- Meißel - entwickelt speziell für die Untergreifung

- Düsengestänge

Mit diesen Aushubwerkzeugen wird der Schlitz links und rechts der Ummantelung, bis zu der erforderlichen Betriebstiefe, von dem Boden im Zwickelbereich befreit. Nach dem 7 m tiefen Untergrafen der Ummantelung kann auch die Leitungstrasse vollständig untergriffen werden (siehe Abb. 11).

Wenn der Greiferkorb die Tiefe der Ummantelung erreicht, werden die Greiferseile möglichst weit links und rechts der Ummantelung herangeführt. Wichtig hierbei ist, dass ein solches Untergrafen nur bei Schlitzn mit einer Länge von:

$$L_s = 2 \cdot b' + b^8 \text{ möglich ist, wobei}$$

b' – Breite des Schlitzwandgreifers

b - Ummantelungsbreite

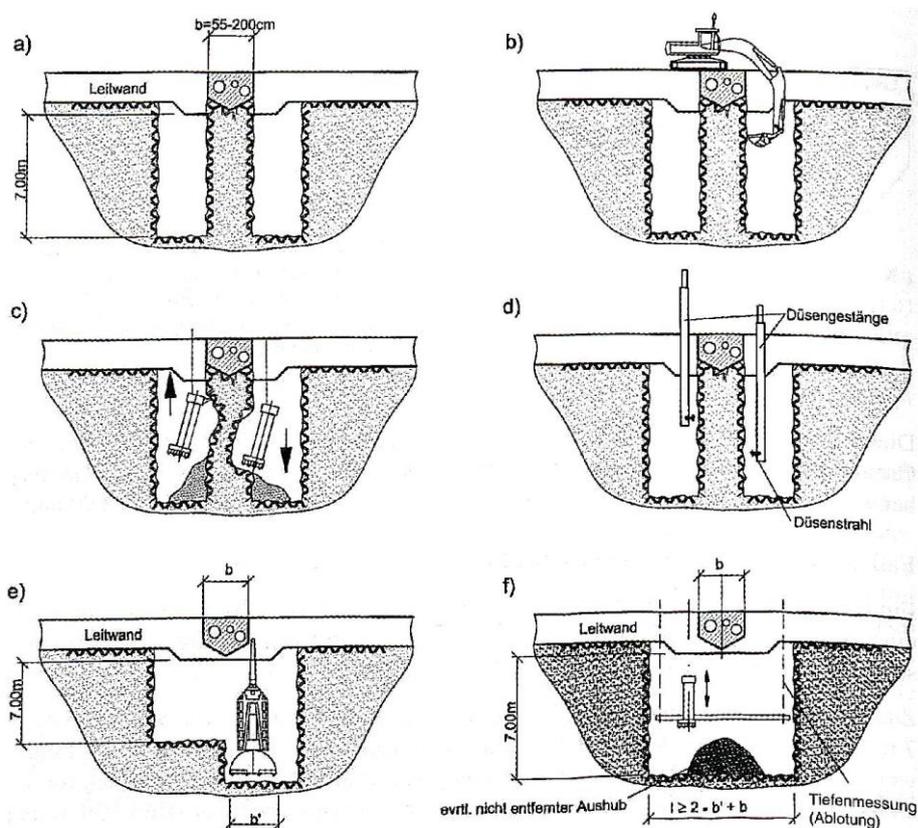


Abb. 11 : Untergrafen eines breiten Stranges von Kanälen und Leitungen mit: [17]

- Schlitzn links und rechts des Hindernisses bis zu einer Tiefe, welche der Bauhöhe des Aushubwerkzeuges inkl. einem Sicherheitszuschlag entspricht. Ausgreifen des Zwickels mit:
- Tieföffel
- Meißel
- Düsenstrahlverfahren
- vollständiger Aushub mit Schlitzwandgreifer
- Kontrolle des Aushubs im kompletten Schlitz mit einem querliegenden Träger

⁸ Triantafyllidis 2004, S.66

Eine Überprüfung des Gesamtaushubs ist nach dem Aushub obligatorisch. In der Regel erfolgt das mittels Auf – und Abfahren eines querliegenden Trägers.

Solche Hindernisse mit einer Breite von 55 cm bis 2 m verursachen hohe Zusatzkosten. Die Zusatzkosten sind abhängig von Wahl des geeigneten Ausgreiferverfahrens des Zwickels. Bei der Verwendung des Düsenstrahlverfahrens sind sie am höchsten. Da viele Werkzeuge zum Einsatz kommen, entstehen viele Zusatzzeiten, was den Baubetrieb beeinträchtigt. Die notwendige Überprüfung des Aushubs hat auch eine negative Einwirkung auf den Betriebsfortschritt.

Eines der größten Probleme bei breiteren, untergriffenen Bereichen ist das Einbringen der Bewehrungskörbe. Eine Bewehrung ist im untergriffenen Bereich erst dann ausführbar, wenn der Bewehrungskorb seitlich eingefügt wird und mit speziellen Handlungsweisen horizontal unter der Leitungsbrücke verstellt werden kann. Meistens bleiben die Bewehrungskörbe ohne Schubverbund im Schlitz. Falls ein niedriger Grundwasserspiegel und Suspensionspiegel vorhanden ist, ist es möglich, dass die Körbe unterhalb der Leitungsbrücke verbunden werden können.

Die Kanäle und die Leitungen sind normalerweise im oberflächennahen Bereich 2–3 m unter Geländeoberkante zu finden. Falls unter Umständen die Leitwand bezüglich dem Kanal relativ hoch liegt, sind folgende Möglichkeiten vorhanden:

- Beim Aushub mittels eines Tieflöffels wird der Kanal umgangen und auch mit dem Einsatz von Schlitzwandgreifer wird die erforderliche Schlitzwandtiefe erreicht. Die Wand wird betoniert bis zur Kanalsohle. Danach werden Träger in 1 m Tiefe in dem frischen Beton eingefügt und mit der Hilfe von Holzbohlen bis zur Geländeoberkante ausgekleidet.

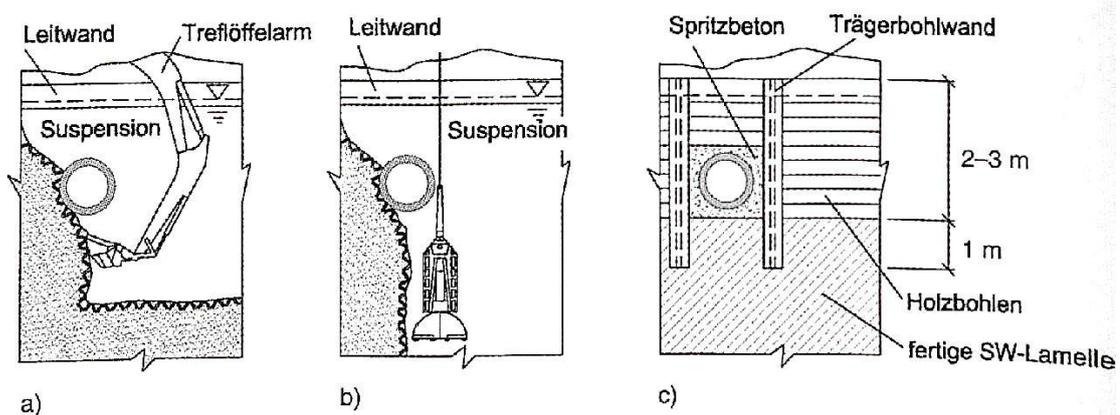


Abb. 12 Aushub [17]

a) mit Tieflöffel und anschließend

b) mit Schlitzwandgreifer

c) Trägerbohlverbau mit Spritzbeton im Bereich des Kanals

- Der Bodenbereich unter dem Kanal wird bis zur geplanten Schlitzwandtiefe vor dem Aushub injiziert. Für die restliche Schlitzwandumschliessung der Baugrube gilt die übliche Schlitzwandtechnik. Bei dem späteren Aushubprozess wird der Bereich unter dem Kanal mit Spritzbeton gesichert oder von oben nach unten betoniert. Diese Prozedur endet auf der Höhe des Aushubniveaus. Wichtig ist es aber zu erwähnen, dass dieses Verfahren nur beim Mangel von Grundwasser außerhalb der Baugrube einsetzbar ist.

In innenstädtischen Bereichen ist es möglich, dass es bei der Schlitzwandherstellung zum Anschnitt von unbekanntem Kanälen oder Leitungen kommen kann (siehe Abb. 13). Diese können sich im Stillstand oder noch im Betrieb befinden. In beiden Fällen kommt es zu einer blitzschnellen Abnahme des Niveaus der Bentonitsuspension oder der Stützflüssigkeit. Um den Einsturz der Wandungen aufgrund fehlender Stützwirkung zu verhindern, wird ein Gemisch aus Boden und Zement in den Schlitz als Hilfsmaßnahme eingeführt. Wenn die Schlitzwandung einstürzt, werden die Leitwände und der Schlitz mit Magerbeton oder Erdbeton aufgefüllt. Nach dem Erstarren des Verfüllmaterials wird der Schlitz wieder ausgegriffen. Wenn ein alter Hausanschluss anzutreffen ist, ist es erforderlich, dass er nach dem Auffüllen des Schlitzes abgedichtet wird.

Die Verwendung von einem Gemisch aus Boden und Zement ist nicht so teuer und leistungsbehindert. Die Zusatzkosten für Personal, Materialien und ev. maschinelle Einrichtungen können mit max. 1000 € abgeschätzt werden. Die aufzuwendete Zeit beträgt als 4-5 Stunden. Bei Einstürzung der Wand sind die Beeinträchtigungen größer. Die notwendige Lieferzeit des Magerbetons beträgt ca. 4-5 Stunden und die Erstarrungszeit mindestens 7 Tage. Die Zusatzkosten sind mit dem Beton und der Arbeitsmannschaft verbunden und sind abhängig von dem einstürzenden Schlitzvolumen. Sie sind aber im Vergleich mit der Betriebsverzögerung unerheblich. Mehr als 8 Tage Verzug können katastrophale Nachfolgen und ev. Konventionalstrafen hervorrufen.

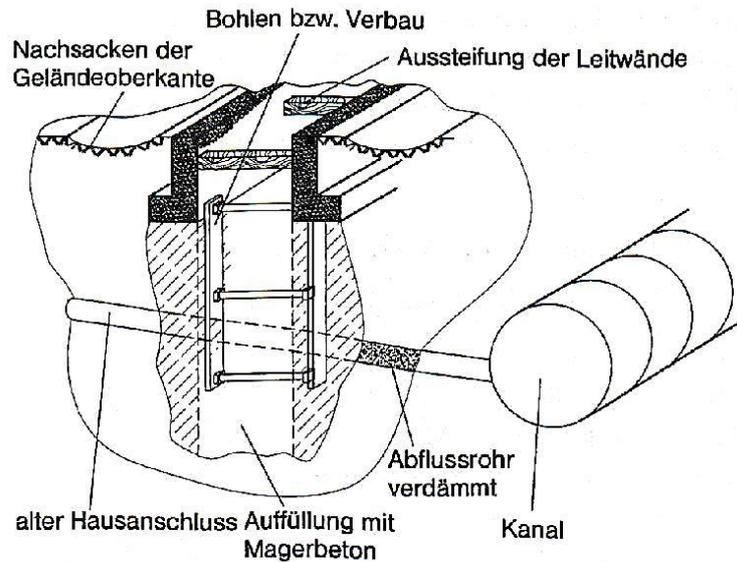


Abb. 13 Antreffen eines alten Hausanschlusses mit Verlust des Stützsuspensionspiegels und Ausbruch der Schlitzwand sowie Verfüllung mit Magerbeton und Verdämmung des Abflussrohres zum Kanal hin [17]

Im Falle des Nicht – Einsturzes der Schlitzwände wird der Schlitz bis zum Hausanschluss verbaut, wobei das Grundwasserniveau abgesenkt und die Sohle des Schlitzes injiziert wird. Nachdem das Abflussrohr verdämmt und entfernt wird, wird der Verbau gezogen und die Schlitzwand mittels üblicher Methoden hergestellt. Die Verdämmung wird in beiden Richtungen des Abflussrohres verrichtet.

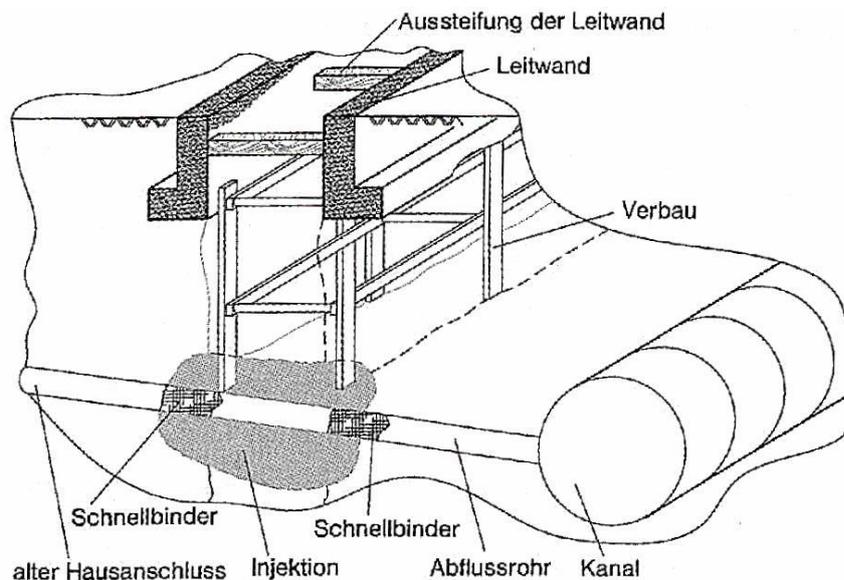


Abb. 14 Verdämmung eines Abflussrohres mit Hilfe eines Verbaues und einer Sohlinjektion [17]

Die Zusatzzeiten können wie folgt abgeschätzt werden: Verbauen = 1,5 Tage, Absenkung des Grundwasserniveaus = 2-3 Tage, Injizieren der Sohle = 1 Tag, Verdämmen und

Entfernen des Abflussrohres=6 Stunden, Ziehen der Verbau=5 Stunden. Die Lieferzeiten für die maschinellen Einrichtungen bleiben nicht berücksichtigt, weil es ist anzunehmen, dass sie während der Absenkung des Grundwasserniveaus besorgt werden.

Die Kosten für den Verbau und das Personal werden mit 2000 € abgeschätzt. Das Absenken des Grundwasserniveaus beträgt ca. 1500 € und die Injektionsarbeiten ca. 1000 €, alle andere Tätigkeiten ca. 2500 €. Insgesamt entstehen 7.000 - 8.000 € Zusatzkosten und 5 - 6 Tage Verzögerung.

2.4.2 Anthropogene Hindernisse und Baureste

Bei der Schlitzwandherstellung ist es keine Seltenheit, dass auf Mauerwerksreste, Beton oder Fundamentvorsprünge gestoßen wird. Solche Hindernisse könnten in der Schlitzwand verbleiben und diese teilweise füllen oder nur einen Teil des Schlitzes in Anspruch nehmen. In diesen Fällen wird ein Schlitzwandmeißel verwendet, bei dessen Einsatzes aber oft zu einer Änderung der vorgeschriebenen Richtung kommt. Die Korrektur solcher Richtungsänderung ist nachfolgend schwer zu vollziehen. Bei Vorhandensein von anthropogenen Hindernissen und Bauresten wird im Allgemeinen wie folgt vorgegangen:

Der Schlitz wird bis ans untere Ende des Hindernisses ausgegriffen, auch wenn es zu einer Richtungsänderung in der Hindernisszone gekommen ist. Danach wird der Bereich der Richtungsänderung (ausgehobenen Hindernis) betoniert. Man verwendet Beton mit einer Festigkeit, die etwa der Festigkeit des Bohrhindernisses entspricht. Nach dem Erstarren des Betons wird dieser Bereich wieder ausgegriffen, wobei aber diesmal ein Meißel verwendet wird (siehe Abb. 15). In diesem Fall kommt es zu keiner Richtungsänderung, aufgrund der angepassten Festigkeiten zwischen Hindernis und Beton, welche fast die gleiche Reaktion auf der ganzen Breite des Schlitzes hervorruft. Eine Abstimmung des Festigkeits- und Duktilitätsverhaltens zwischen Hindernis und Verfüllung ist besonders wichtig.

Dieses Verfahren ist bei Anwesenheit von natürlichen Hindernissen wie Findlingen oder großen Steinen nicht einsetzbar. Solche Hindernisse haben erheblich größere Festigkeiten und der Meißel beseitigt immer das weichere Material.

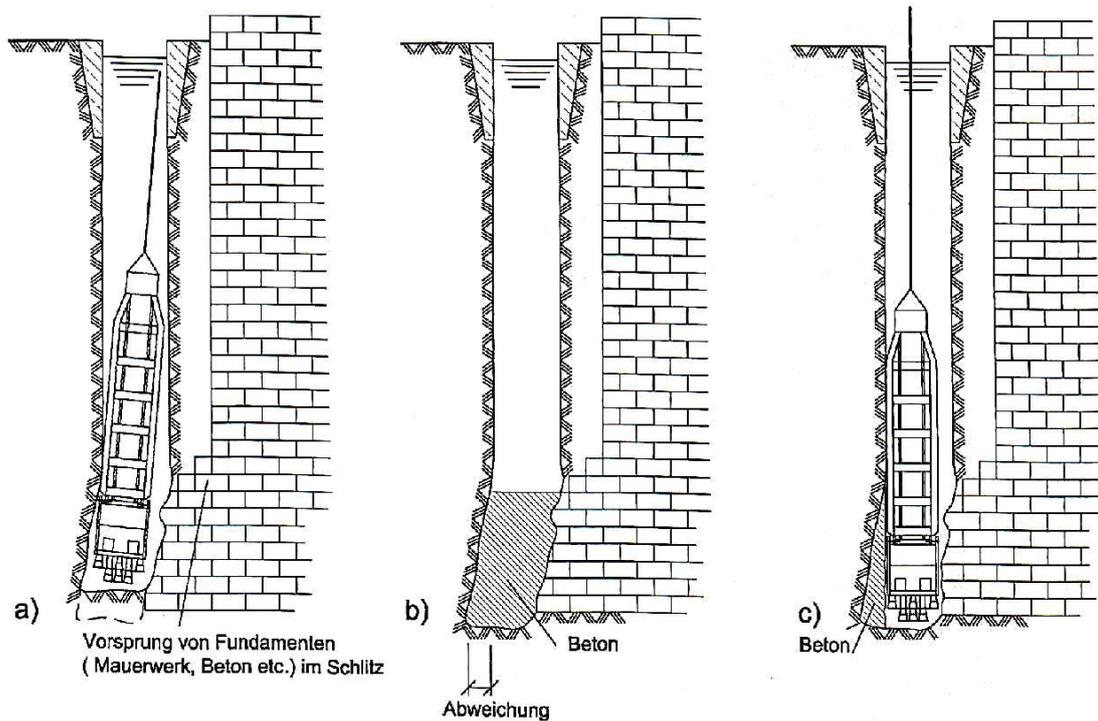


Abb. 15 Behandlung hineinragenden Fundamente im Schlitz [17]

- a) ausgreifen bis unterhalb von Fundament oder Hinderniss
- b) verfüllen des Schlitzes mit Magerbeton
- c) erneutes Ausgreifen des Schlitzes

Beispielkalkulation: Beseitigung eines Mauerwerkrestes oder Fundamentvorsprunget

Für die Errichtung einer U-Bahnlinie in offener Bauweise ist die Baugrube durch eine Schlitzwand zu sichern. Die geplante Schlitzwandtiefe beträgt 14,0 m und die Schlitzwanddicke 0,8 m (siehe Abb. 16). Während des Ausgreifens wurde auf einem Mauerwerkrest gestoßen, was eine Änderung der vorgeschriebenen Tiefenrichtung der Wand als Nachfolge hatte. Der Mauerwerkrest erstreckte sich über eine Länge von 4,0 m und ist 4,5 m hoch. Trotz dieser Richtungsänderung wird der Schlitz voll ausgegriffen und die Zone der Abweichung mit einem Beton gefüllt, dessen Festigkeit, der Festigkeit des Mauerwerkrestes entspricht. Nach der Erstarrung wird der Beton entfernt, wobei diesmal ein Meißel zum Einsatz kommt. Die Anpassung der Festigkeiten zwischen dem Hindernis und dem Mauerwerkrest verhindert eine neue Richtungsänderung und die Wand wird plangemäß errichtet.

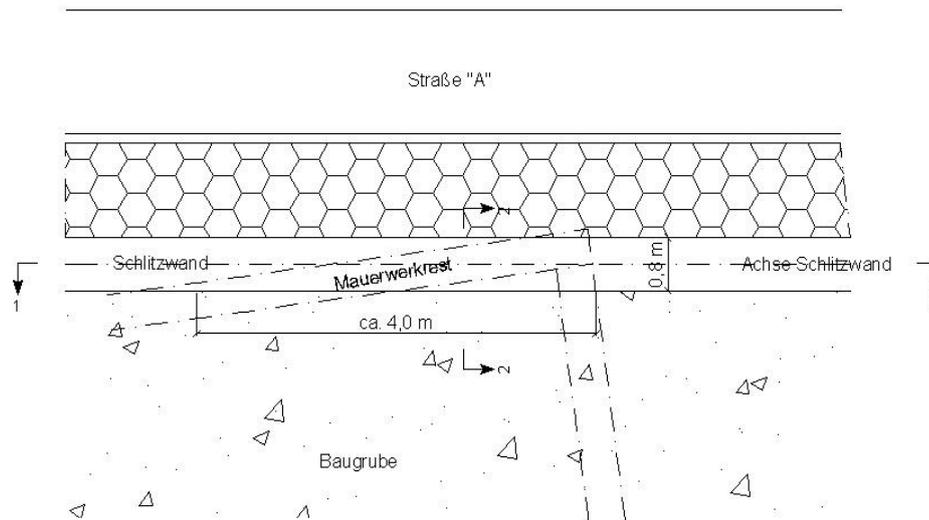


Abb. 16 Lageplan der Schlitzwand im Bereich des Mauerwerkrestes

Kalkulationsgrundlagen:

- Abminderungsfaktoren der monatlichen Sätze für:
 - Abschreibung und Verzinsung.....0,45
 - Reparaturentgelt.....0,50
- Arbeitsstunden / Monat.....172
- Arbeitstage (AT) / Monat..... 21
- Mittellohncosten.....40,- €/h
- Beton..... 80,- €/m³
- Strom.....0,25 €/kWh
- Diesel.....1,15 €/l

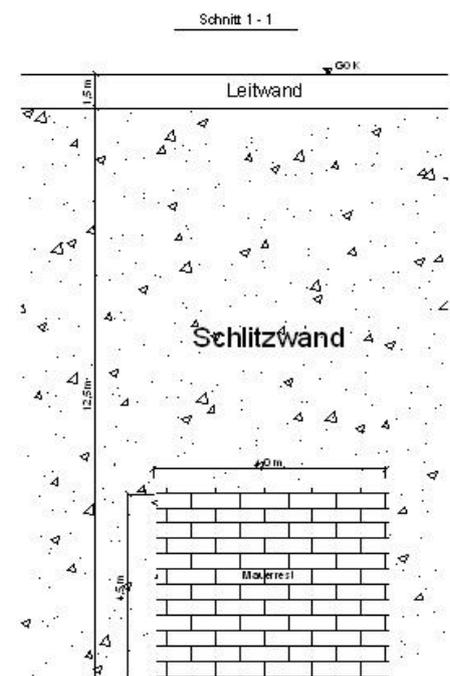
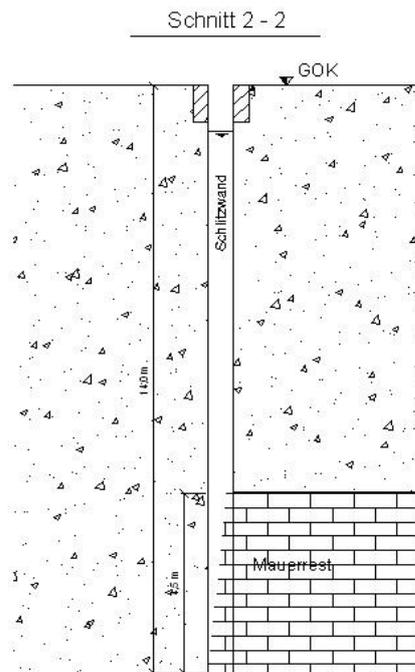


Abb. 17 Schnitt 1 – 1

KALKULATION**Schlitzwandvolumen im Bereich des Hindernisses:**

$$14,0 \text{ m (SW}^9 \text{ - tiefe) } \times 0,8 \text{ m (SW – dicke) } \times 4,0 \text{ m (Hindernisslänge) } = 44,8 \text{ m}^3$$

⁹ SW = Schlitzwand



AUSHUB DES SCHLITZES MITTELS SCHLITZWANDGREIFER

Für den Aushub einer Schlitzwand mittels Schlitzwandgreifer sind folgende Geräte erforderlich:

- Raupenseilbagger

D.0.00 Raupenseilbagger, diesel-hydraulisch SEILB D HYD R 3110

Standardausrüstung:

Grundgerät komplett, für Baggerbetrieb ausgelegt.

Mit: Seilerstaurüstung für den Grundausleger, Gegengewicht (Grundballast), Unterwagen-Spurverbreiterung, Traktoren-Laufwerk, Dreisteg-Bodenplatten.

Ohne: Ausleger, Grabgefäße, Hakenflasche, Zusatzeinrichtungen für hydraulische Zusatzfunktionen.

Kenngroße(n): Max. Nennlastmoment (tm).

Nr.	max. Nennlastmoment	Windenzugkraft	Motorleistung	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	tm	kN	kW	kg	Euro	Euro	von Euro bis	
D.0.00.0050	50	60	75	20000	204500,00	3270,00	4290,00	4700,00
D.0.00.0075	75	80	120	28000	276000,00	3860,00	5250,00	5500,00
D.0.00.0100	100	80	120	35000	332500,00	4660,00	6300,00	6650,00
D.0.00.0125	125	120	160	41500	368000,00	5150,00	7000,00	7350,00
D.0.00.0150	150	120	180	48000	409000,00	5750,00	7750,00	8200,00
D.0.00.0175	175	160	220	54500	447500,00	6250,00	8500,00	8950,00
D.0.00.0200	200	160	220	61000	485500,00	6800,00	9200,00	9700,00
D.0.00.0250	250	200	250	71000	562500,00	7850,00	10700,00	11300,00
D.0.00.0300	300	200	250	80000	634000,00	8900,00	12000,00	12700,00
D.0.00.0350	350	250	325	88000	700500,00	9800,00	13300,00	14000,00
D.0.00.0400	400	250	325	95000	762000,00	10700,00	14500,00	15200,00
D.0.00.0500	500	300	400	105000	848500,00	11900,00	16100,00	17000,00

Gewählt: Raupenseilbagger, diesel – hydraulisch D.0.00.0200, Seite D1, BGL 2007

- Grundausleger

D.0.30 Grundausleger 3112
GRUNDAUSLEG SEILB

Standardausrüstung:
 Grundausleger in Rohrkonstruktion.
 Mit: 2-fach-Rollenkopf, Auslegerhalteseilen.

Kenngröße(n): Max. Nennlastmoment des Baggers (tm).

Nr.	max. Nennlastmoment des Baggers	Nennlastmoment von bis	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	tm	tm	kg	Euro	Euro	von Euro bis	
D.0.30.0050	50	25- 50	1300	12800,00	205,00	269,00	294,00
D.0.30.0100	100	51-100	1500	25600,00	358,00	486,00	510,00
D.0.30.0150	150	101-150	2500	30700,00	430,00	585,00	615,00
D.0.30.0200	200	151-200	3000	33200,00	465,00	630,00	665,00
D.0.30.0300	300	201-300	3500	40900,00	575,00	775,00	820,00
D.0.30.0400	400	301-400	4500	48600,00	680,00	925,00	970,00
D.0.30.0500	500	401-500	5200	53700,00	750,00	1020,00	1070,00

Gewählt: Grundausleger D.0.30.0200 Seite D8, BGL 2007

- Schlitzwandgreiferkörper mechanisch

► **K.9.1 Schlitzwandwerkzeuge**

	Nutzungsjahre	Vorhaltemonate	Monatlicher Satz für Abschreibung und Verzinsung	Monatlicher Satz für Reparaturkosten
K.9.10-K.9.14	4	25–20	4,5%-5,7%	4,2%
K.9.15	4	25–30	4,5%-5,7%	4,2%

K.9.10 Schlitzwandgreiferkörper, mechanisch 4220
GREIFERK SCHLITZ M

Standardausrüstung:
 Mechanisch für Zweiseilbetrieb. Greifengerüslänge 9 m, Scherung 6-strängig.
 Mit: Fahrseil.
 Ohne: Greiferschalen, Schließseil.

Verschleißteil(e): Seilenumrollen, Verschleißleisten der Läuferführung einschl. Befestigungsmittel, Rollenböcke der Schließseilsicherung (A-, B- und C-Block) Bolzen und Buchsen

Kenngröße(n): Min. Schlitzbreite (mm) und max. Maulweite (mm).

Nr.	min. Schlitzbreite	max. Maulweite	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	mm	mm	kg	Euro	Euro	von Euro bis	
K.9.10.0642	600	4200	17000	84400,00	3540,00	3800,00	4810,00
K.9.10.0842	800	4200	20000	99700,00	4190,00	4490,00	5700,00
K.9.10.1034	1000	3400	19000	94600,00	3970,00	4260,00	5400,00

Gewählt: Schlitzwandgreiferkörper, mechanisch K.9.10.0842, Seite K42, BGL 2007

- Schlitzwandgreiferschalen

K.9.12 Schlitzwandgreiferschalen 4221
 GREIFERSCHAL SCHLITZ

Standardausrüstung:

Runde oder rechteckige Ausführung.
 Mit: Auswechselbaren Zähnen.

Verschleißteil(e): Zähne und Zahnhalter, Schneiden, Auftragsschweißungen an Schalenschnitten und Schalenwangen, Bolzen und Buchsen der Schaufelstangen und der Schaufelanlenkung

Kenngroße(n): Schlitzbreite (mm) und Maulweite (mm).

Nr.	Schlitzbreite	Maulweite	Gewicht	Mittlerer	Monatliche	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag
	mm	mm		Neuwert		
			kg	Euro	Euro	von Euro bis
K.9.12.0600	600	4200	3300	16400,00	690,00	740,00 935,00
K.9.12.0800	800	4200	4000	19200,00	805,00	865,00 1090,00
K.9.12.1000	1000	3400	3100	15900,00	670,00	715,00 905,00

Gewählt: Schlitzwandgreiferschalen K.9.12.0800, Seite K44, BGL 2007

LEISTUNGERMITTLUNG - AUSGREIFEN

Masse - Aushub

$14,0 \text{ m (SW}^{10} \text{ - tiefe)} \times 0,8 \text{ m (SW - dicke)} \times 4,0 \text{ m (Hindernislänge)} = 44,8 \text{ m}^3_{\text{fest}}$

Dauer des Ausgreifens

Die Leistung des Schlitzwandgreifers wird mit $10 \text{ m}^3/\text{h}$ angenommen !

$44,8 \text{ m}^3 / 10 \text{ m}^3/\text{h} = 4,8 \text{ h} - \text{angenommen } 5 \text{ h}$

KOSTENERMITTLUNG – AUSGREIFEN

Gerätekosten

- Raupenseilbagger, diesel – hydraulisch D.0.00.0200

$AV/h = 9.500 \text{ €/Mo} \times 0,45 / 172 \text{ h/Mo} = 24,85 \text{ €/h}$

$Rep/h = 6.800 \text{ €/Mo} \times 0,50 / 172 \text{ h/Mo} = 19,77 \text{ €/h}$

- Grundausleger D.0.30.0200

$AV/h = 650 \text{ €/Mo} \times 0,45 / 172 \text{ h/Mo} = 1,70 \text{ €/h}$

$Rep/h = 465 \text{ €/Mo} \times 0,50 / 172 \text{ h/Mo} = 1,35 \text{ €/h}$

- Schlitzwandgreiferkörper, mechanisch K.9.10.0842

$AV/h = 5000 \text{ €/Mo} \times 0,45 / 172 \text{ h/Mo} = 13,08 \text{ €/h}$

$Rep/h = 4190 \text{ €/Mo} \times 0,50 / 172 \text{ h/Mo} = 12,18 \text{ €/h}$

- Schlitzwandgreiferschalen K.9.12.0800

$AV/h = 1000 \text{ €/Mo} \times 0,45 / 172 \text{ h/Mo} = 2,62 \text{ €/h}$

$Rep/h = 805 \text{ €/Mo} \times 0,50 / 172 \text{ h/Mo} = 2,34 \text{ €/h}$

Gesamtkosten

$AV = (24,85 \text{ €/h} + 1,70 \text{ €/h} + 13,08 \text{ €/h} + 2,62 \text{ €/h}) \times 5 \text{ h} = 42,25 \text{ €/h} \times 5 \text{ h} = 211,25 \text{ €}$

¹⁰ SW = Schlitzwand

$$\text{Rep} = (19,77 \text{ €/h} + 1,35 \text{ €/h} + 12,18 \text{ €/h} + 2,34 \text{ €/h}) \times 5 \text{ h} = 35,64 \text{ €/h} \times 5 \text{ h} = 178,20 \text{ €}$$

Betriebsstoffkosten

- Raupenseilbagger, diesel – hydraulisch D.0.00.0200 – Motorleistung 220 kW

$$\text{Diesel} = (220 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,15 \text{ €/l}) \times 5 \text{ h} = 253 \text{ €}$$

$$\text{Schmierstoffe} = 0,1 \times 253 \text{ €} = 25,3 \text{ €}$$

Gesamtkosten

$$253 \text{ €} + 25,3 \text{ €} = 278,3 \text{ €}$$

Personalkosten

Die Arbeitsmannschaft setzt sich wie folgt zusammen:

- 1 Maschinist
- 1 Helfer

$$(1 \text{ Maschinist} + 1 \text{ Helfer}) \times 40 \text{ €/h} \times 5 \text{ h} = 400 \text{ €}$$

BETONIEREN DER ZONE DER RICHTUNGSÄNDERUNG DER WAND

Massenermittlung

$$4,5 \text{ m (Hindernishöhe)} \times 4,0 \text{ m (Hindernislänge)} \times 0,8 \text{ m (Wanddicke)} = 14,4 \text{ m}^3$$

$$\text{Gesamtmenge Beton} = 14,4 \text{ m}^3$$

$$\text{Bestellmenge Beton} = 14,4 \times 1,03 = 14,83 = \text{ca. } 15 \text{ m}^3 \text{ (3\% Verlust beim Pumpen)}$$

LEISTUNGERMITTLUNG – BETONIEREN

Das Betonieren erfolgt nach dem Kontraktorverfahren und die Betonierleistung wird mit 18 m³ / h angenommen. Die Lieferzeit des Betons beträgt 4 h.

$$15 \text{ m}^3 / 18 \text{ m}^3 / \text{h} = 0,83 \text{ h Betonieren}$$

Die Erstarrungszeit des Betons beträgt 14 Tage (336 h).

KOSTENERMITTLUNG BETONIEREN

Betonkosten

$$15 \text{ m}^3 \times 80 \text{ €/m}^3 = 1200 \text{ €}$$

Gerätekosten

Da das Betonieren nicht mehr als 1 h dauert sind die Gerätekosten für das Betoniergerät zu vernachlässigen.

Personalkosten

Die Betoniermannschaft setzt sich aus 3 Helfer zusammen.

$$3 \text{ Helfer} \times 1 \text{ h} \times 40 \text{ €/h} = 120 \text{ €}$$

$$\text{Gesamtkosten} = 120 \text{ €}$$

MEIßELEINSATZ

Beim Meißeleinsatz sind Raupenseilbagger und Grundauleger zu verwenden, die auch zum Ausgreifen dienen. Es muss ein Schlitzwandmeißel gewählt werden, der der erforderlichen Wandbreite entspricht.

K.9.13 Schlitzwandmeißel MEISSEL SCHLITZWAND 4222

Standardausrüstung:

Mit Schneide oder wahlweise auswechselbaren Zähnen, exzentrischer Aufhängung, Drallfänger zur Korrektur des Lamellenverlaufes.

Ohne: Zahnbestückung.

Verschleißteil(e): Zähne und Zahnhalter, Meißelschneiden und Auftragsschweißung, Wirbel

Kenngroße(n): Schlitzbreite (mm).

Nr.	Schlitzbreite	Gewicht	Mittlerer	Monatliche	Monatlicher Abschreibungs-
	mm		Neuwert		
		kg	Euro	Euro	von Euro bis
K.9.13.0600	600	8000	20700,00	870,00	930,00 1180,00
K.9.13.0800	800	10000	25600,00	1080,00	1150,00 1460,00
K.9.13.1000	1000	11500	30700,00	1290,00	1380,00 1750,00

Gewählt: Schlitzwandmeißel K.9.13.0800 Seite K44, BGL 2007

Massenermittlung

4,5 m (Hindernishöhe) x 4,0 m (Hindernislänge) x 0,8 m (Wanddicke) = 14,4 m³

LEISTUNGSMITTLUNG MEIßELN

Die Lieferzeit des Schlitzwandmeißels wird mit 6 h angenommen.

Die Leistung des Schlitzwandmeißels beträgt 1,5 h/m³.

14,4 m³ x 1,5 h/m³ = 21,6 h

KOSTENERMITTLUNG MEIßELN

Gerätekosten

- Raupenseilbagger, diesel – hydraulisch D.0.00.0200

AV/h = 9.500 €/Mo x 0,45 / 172 h/Mo = 24,85 €/h

Rep/h = 6.800 €/Mo x 0,50 / 172 h/Mo = 19,77 €/h

- Grundauleger D.0.30.0200

AV/h = 650 €/Mo x 0,45 / 172 h/Mo = 1,70 €/h

Rep/h = 465 €/Mo x 0,50 / 172 h/Mo = 1,35 €/h

- Schlitzwandmeißel, K.9.13.0800

AV/h = 1400 €/Mo x 0,45 / 172 h/Mo = 3,66 €/h

Rep/h = 1080 €/Mo x 0,50 / 172 h/Mo = 3,14 €/h

Gesamtkosten

AV = (24,85 €/h + 1,70 €/h + 3,66 €/h) x 21,6 h = 30,21 €/h x 21,6 h = 652,536 €

$$\text{Rep} = (19,77 \text{ €/h} + 1,35 \text{ €/h} + 3,14 \text{ €/h}) \times 21,6 \text{ h} = 24,26 \text{ €/h} \times 21,6 \text{ h} = 524,01 \text{ €}$$

Betriebsstoffkosten

- Raupenseilbagger, diesel – hydraulisch D.0.00.0200 – Motorleistung 220 kW

$$\text{Diesel} = (220 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,15 \text{ €/l}) \times 21,6 \text{ h} = 1093 \text{ €}$$

$$\text{Schmierstoffe} = 0,1 \times 1093 \text{ €} = 109,3 \text{ €}$$

Gesamtkosten

$$1093 \text{ €} + 109,3 \text{ €} = 1202,3 \text{ €}$$

Personalkosten

Die Arbeitsmannschaft setzt sich wie folgt zusammen:

- 1 Maschinist
- 1 Helfer

$$(1 \text{ Maschinist} + 1 \text{ Helfer}) \times 40 \text{ €/h} \times 21,6 \text{ h} = 1728 \text{ €}$$

Ergebnis- und Kostenzusammenstellung

Aus der Kalkulation ergeben sich die Kosten und die Dauer der Teilprozesse wie folgt:

		KOSTEN					DAUER
		Personal	Geräte	Betriebsstoffe	Material	Summe	
TEILPROZESS	Ausgreifen	400 €	390 €	280 €	0 €	1 070 €	5 h
	Betonieren	120 €	0 €	0 €	1 200 €	1 320 €	341 h (inkl. Aushärten)
	Meißeln	1 750 €	1 180 €	1 200 €	0 €	4 130 €	28 h

Die Ergebnisse stellen deutlich fest, wie das Antreffen eines solchen Hindernisses den Betrieb beeinflussen kann. Bei der Beseitigung des Mauerwerkrestes dienen das Betonieren und das Meißeln als Zusatzmaßnahmen. Die Kosten für diese Teilprozesse sind in der Größenordnung von 5500 Euro und der Aufwand ist 5 mal größer als der Regelfall. Die Dauer der Schlitzwandherstellung ist aber auf 70 mal verlängert, was bei einem größeren Volumen des Mauerwerkrestes zu katastrophalen Nachfolgen bzw. Konventionalstrafen führen kann.

2.4.3 Findlinge und natürliche Hindernisse

„Findlinge sind mit der Eiszeit in den Urströmen transportiert und abgelagert worden und allein die Tatsache, dass sie diesen Transport und andere Verwitterungsarten (chemische, physikalische, biologische) über die Jahre überlebt haben, zeugen von deren enormer Härte und Festigkeit.“¹¹

Üblicherweise haben solche Findlinge eine Festigkeit von über 200 MPa. Verfüllbetone mit einer solchen Festigkeit können nicht zum Einsatz kommen und somit ist eine Homogenisierung des Meißelbereiches im Schlitz nicht erfüllbar. Findlinge, die im Leitwandbereich anzutreffen sind, werden während der Leitwandherstellung durch tieferen Aushub entfernt.

Bei tiefliegenden Hindernissen ergreift man verschiedene Maßnahmen für deren Beseitigung.

Als Erstes versucht man mit der Hilfe eines Meißels, das Hindernis zu entfernen. Diese Prozedur ist aber nicht immer effektiv und gut geeignet, weil der verbleibende Teil des Findlings beim tieferen Aushub so aufgelockert werden könnte, dass er einen örtlichen Geländebruch verursachen und das Aushubgerät einstürzen könnte (siehe Abb. 18). Die „Befreiung“ der Geräte ist sehr mühsam und kostspielig, und oftmals gar unmöglich.

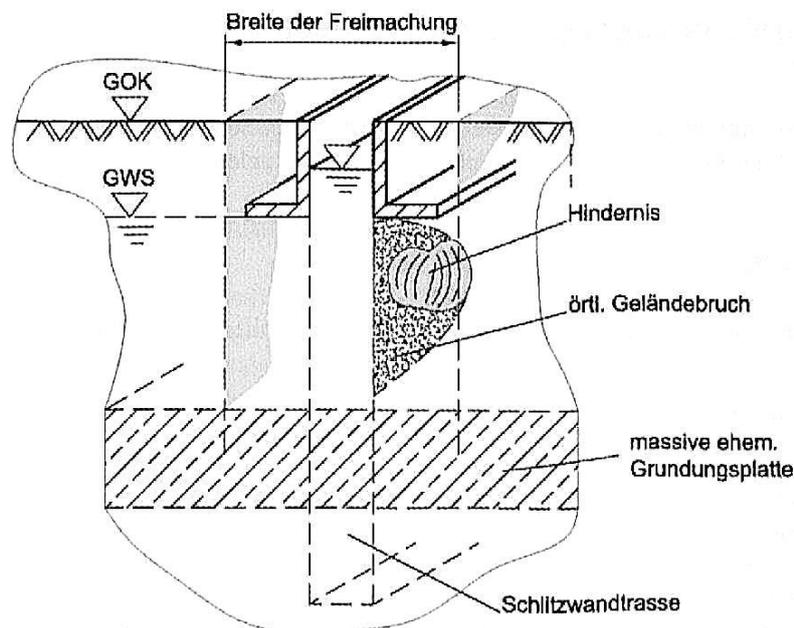


Abb. 18 Mögliche Folgen einer nicht ausreichenden Hindernissbeseitigung [17]

¹¹ Triantafyllidis 2004, S.71

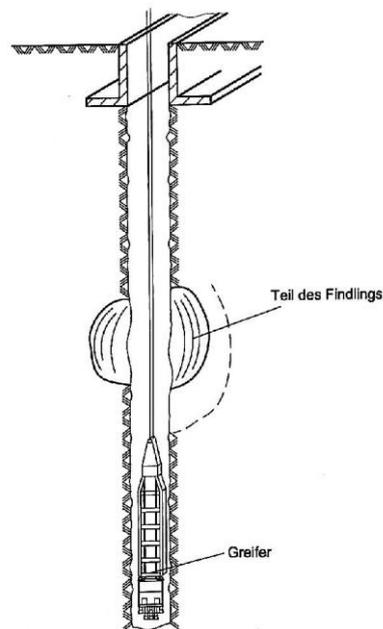


Abb. 19 Gefahr des Verkeilens des Greifers bei gelösten Teilfindling im Schlitz [17]

In der Regel wird in dieser Situation wie folgt vorgegangen.

Erstens wird der Schlitz bis zum Findling ausgehoben und betoniert. Dann kommen Injektionsarbeiten zum Einsatz, wobei der Findling umhüllt wird und die Injektionen bis unterhalb des Aushubs errichtet werden. Der Findling wird weggemeißelt. Eine Besonderheit dieses Verfahrens ist der Einsatz einer Schalung, die zum späteren Betonieren des noch offenen Wandteils dienen wird. Nach dem Betonieren und dem Entfernen der Schalung wird eine Verdichtung des Bodens durchgeführt. Diese Methode hat bestimmte Vorteile, aber auch Nachteile. Einer der größten Nachteile ist es, dass wegen der verschiedenen Bodenarten und Schichten, trotz Injektionen, die Schlitzwand ihre Vertikalität verlieren kann.

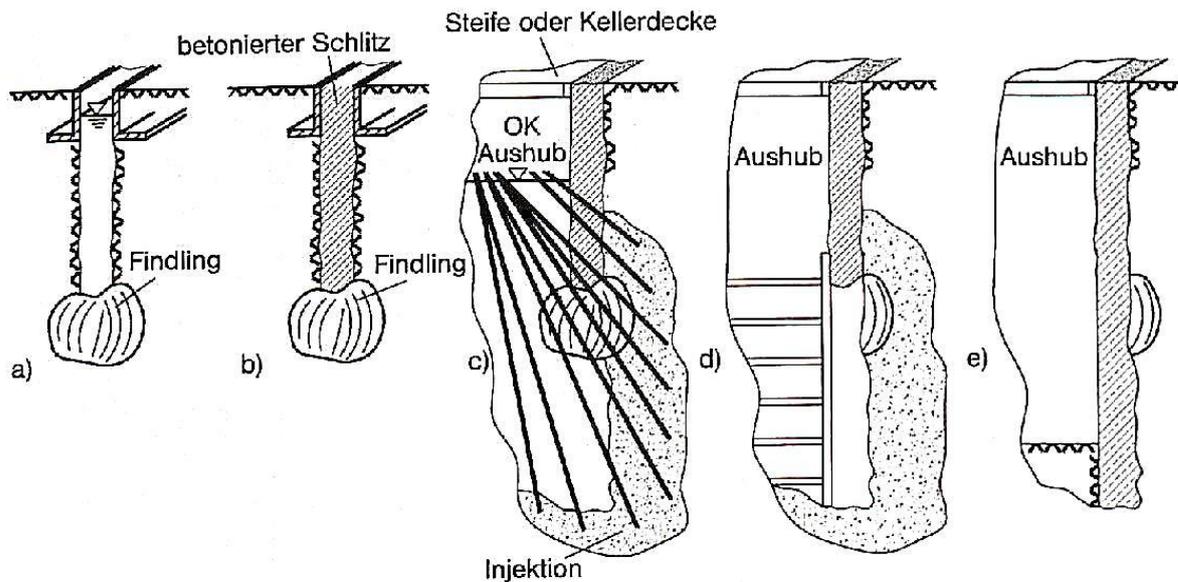


Abb. 20 Methode zur Beseitigung von Findlingen [17]

- a) Aushub bis zur Oberkante Findling
- b) Betonieren des Teilschlitzes bis Oberkante Findling
- c) Injektionen um den Findling während des Aushubes mit Zertrümmerung des Findlings und Verwendung einer Schalung für die Restbetonage
- d) Verdichtung des Bodens bis zum geplanten Aushubniveau
- e) Herstellung der restlichen Wand und Entfernung der Schalung

Der Verlauf einer Schlitzwand muss möglichst früh bestimmt werden, weil eine spätere Konstatierung der Abweichung oder eine Korrektur fast unmöglich ist.

Alle Maßnahmen zur Hindernisbeseitigung oder zur Bewältigung sehr heterogener Bodenformationen, sowie Korrekturen des vertikalen Schlitzverlaufes oder langandauernden Meißelarbeiten, verursachen Abweichungen von der Vertikalität und Oberflächenbeschaffenheit der Wand. Die maximalen Abweichungen betragen für die Wandfläche max. 1,5 % von der Wandtiefe oder 10 cm. Die maximalen Werte dieser Abweichungen dürfen in der Regel nicht überschritten werden. Oft kommt es aber zu Fällen, bei denen im Zuge einer Hindernisbeseitigung mit Unebenheiten der Außenfläche der Schlitzwand, diese Toleranzwerte überschritten werden. Diese Unebenheiten müssen nicht entfernt werden, wenn sie den Verwendungszweck der Schlitzwand nicht behindern. Die Maßnahmen zur Beseitigung solcher Unebenheiten, wenn sie als Hindernisse gelten, bestimmt man als Sonderleistungen.

3 Pfähle

3.1 Vorwort / Allgemeines

Pfähle sind Grundelemente des Spezialtiefbaus und sind seit Jahren bekannt und in Verwendung. Ihren Einsatz findet man bei der Tiefgründung und auch bei der Baugrubensicherung. Pfähle sind schlanke Elemente die einen Durchmesser von 0,3 – 1,8 m und eine maximale Tiefe von 70 m haben. Falls ungünstige Untergrundverhältnisse vorhanden sind, sind Pfähle bei der Gründung von bleibender Bauwerke besonders gut geeignet. Sie können die Lasten aufnehmen und sie bis zur tragfähigen Bodenschicht übertragen. Man unterscheidet einige Arten von Pfählen und Pfahlsystemen. Allgemein sind sie nach der Herstellungsart in zwei wichtige Kategorien eingeteilt – Bohrpfähle und Verdrängungspfähle.

Zu den Verdrängungspfählen gehören:

- Ramppfähle
 - In – situ
 - Vorgefertigt – Stahl, Beton, Holz, Spannbeton
- Verpresspfähle - vorgefertigt
- Schraubbohrpfahl – in situ

Man unterscheidet folgende Bohrpfahltypen

- Bohrpfähle mit grossen Durchmesser, Bentonit (keine Dichtungswände)
- Bohrpfähle mit grossen Durchmesser, verlorene Stahlverrohrung
- Bohrpfähle mit kleinen Durchmesser, durchgehende Bohrschnecke
- Verpresspfähle und verwandte Techniken
- Mikropfähle

Neben der Gründungsfunktion haben die Bohrpfähle in Form einer Bohrpfahlwand auch eine Baugrubenverbaufunktion. Diese Bohrpfahlwände werden, je nach Anordnung der Pfähle folgenderweise eingeteilt

- Aufgelöste Bohrpfahlwand
- Tangierende Bohrpfahlwand
- Überschrittene Bohrpfahlwand

			Verwendungsumfang der unterschiedlichen Pfahltypen in den einzelnen Ländern																
			Italien		D		Niederlande		U. K.		Frankreich		Belgien		Österreich		Schweiz		
			A [%]	B [km]	A [%]	B [km]	A [%]	B [km]	A [%]	B [km]	A [%]	B [km]	A [%]	B [km]	A [%]	B [km]	A [%]	B [km]	
			A: Marktanteil der einzelnen Pfahltypen B: Gesamtlänge der hergestellten Pfähle																
Verfahren mit Erdrückverdrängung	Rammpfähle	in-situ (mit und ohne verlorener Verrohr.)	13	2000	15	1500	8	960	7	700	30	1500	36	360	11	150	5	25	
		vorgefertigt	Stahl	1	150	5	500	-	-	4	400	1	50	2	20	4	50	-	-
			Beton	7	1000	10	1000	48	5800	19	1900	0,2	10	19	190	10	130	14	75
			Holz	0	-	0	-	20	2400	0	-	0	-	0	-	4	50	4	20
Verfahren mit Erdaustaub	Bohrpfähle	große Durchmesser, Bentonit (keine Dichtungswände)	46	7000	28	2800	(0,1)	10	40	4000	44	2200	4	40	39	520	59	295	
		große Durchmesser, verlorene Stahlverrohrung					-	-					1	10	-	5	1	5	
Verfahren mit Erdaustaub	Bohrpfähle	kleine Durchmesser, durchgehende Bohrschnecke	10	1500	15	1500	18	2100	28	2800	16	800	12	120	3	35	4	20	
		Verpreßpfähle und verwandte Techniken	5	750	8	800	(2)	220	-	-	0,8	40	2	20	10	140	6	30	
		Verpreßpfähle mit kleinem Durchmesser (Mikropfähle)	18	2700	15	1500			2	200	4	200	3	30	13	180	3	15	

Tabelle 4: Verwendungsumfang der unterschiedlichen Pfahltypen in den europäischen Staaten [16]

Sie sind verformungsarme Verbauelemente und dienen als Alternative zu Schlitzwänden. Dieses Verfahren hat bestimmte Vorteile und auch Nachteile. Die wichtigsten Vorteile sind

- Mangel an Verformungen
- Große Tragfähigkeit
- Können geneigt errichtet werden
- Wasserdicht
- Harte Bodenschichten können durchdrungen werden
- Hindernisse können unterworfen werden

Zu den Nachteilen gehören

- Verminderte Leistung bei großen Tiefen
- Erfordert anspruchsvolle Bohrausrüstung und qualifiziertes Personal
- Begrenzte Neigung
- Kostspielig

3.2 Herstellungsverfahren

3.2.1 Verdrängungspfähle

„Verdrängungspfähle sind Ortbeton – und Fertigpfähle, bei deren Einbringen in den Baugrund der Boden vollständig verdrängt wird“¹²

3.2.1.1 Vorgefertigte Rammpfähle

Bei den Fertigpfählen wird Beton, Stahl, Holz, Stahlbeton oder Spannbeton verwendet. Sie werden in bestimmten Längen auf der Baustelle angeliefert. Der Eintrieb in den Untergrund erfolgt mittels schlagenden Bären, Schnellschlagrammen oder Rüttlern. Mit Hilfe einer Kupplungsvorrichtung können sie verlängert werden. Die übliche Querschnittsform der vorgefertigten Bohrpfähle ist rund, quadratisch oder rechteckig. Bei der Verwendung von Stahl ist das gewählte Stahlprofil maßgebend. Die Pfahlänge ist auch von dem Material abhängig. Die Holzpfähle haben eine Länge von 5,0 bis 15,0 m und alle andere Pfahltypen können bis 70 m errichtet werden. Sie werden senkrecht oder geneigt in den Boden eingebracht, wobei die Neigung einen Wert von 5:1 oder 3:1 erreichen kann.

3.2.1.2 Ortbeton - Rammpfähle

Bei den Ortbetonverdrängungspfählen wird im Baugrund durch Bodenverdrängung ein Hohlraum hergestellt, welcher mit Beton oder auch mit Bewehrung ausgefüllt werden kann. Die Errichtung des Hohlraumes kann mittels Rammen, Rütteln, Drücken oder Drehen eines Vortriebröhres durchgeführt werden.

Bei der Herstellung von Ortbeton – Rammpfählen wird ein unten verschlossenes Vortriebsrohr verwendet. Es wird in den Boden eingerammt, wobei der Boden verdrängt wird und ein Hohlraum entsteht. Der Rammungsprozess vollzieht sich durch Freifall – Innenrammung mit einem schweren Fallbären aus großer Fallhöhe auf einen Betonpfropfen im Fuß des Rohres, oder Kopframmung auf eine Rammhaube. Das Konzept von Kopframmung auf eine Rammhaube beruht auf der Verschließung des Rammrohres am unteren Ende mit einer verlorenen Spitze oder Platte. Das Errichten von einem Ortbeton – Rammpfahl wird folgenderweise durchgeführt :

- Anlegen des Mantelrohres auf seiner endgültigen Tiefe
- Ausrammung einer Fußerweiterung, damit der Boden zusätzlich verdichtet wird
- Einstellen der Bewehrung
- Einbetonieren der Betonschaft unter gleichzeitigen Ziehen des Rohres
- Verdichten des Betons durch Rammschläge oder Rütteln

¹² Seitz, Schmidt 2000.

Der Durchmesser von einem Ortbeton – Rammpfahl überschreitet in der Regel den Wert von 60 cm nicht. Die maximale Länge eines solchen Pfahles ist 30,0 m und die maximale Neigung ist bis zu 4:1.

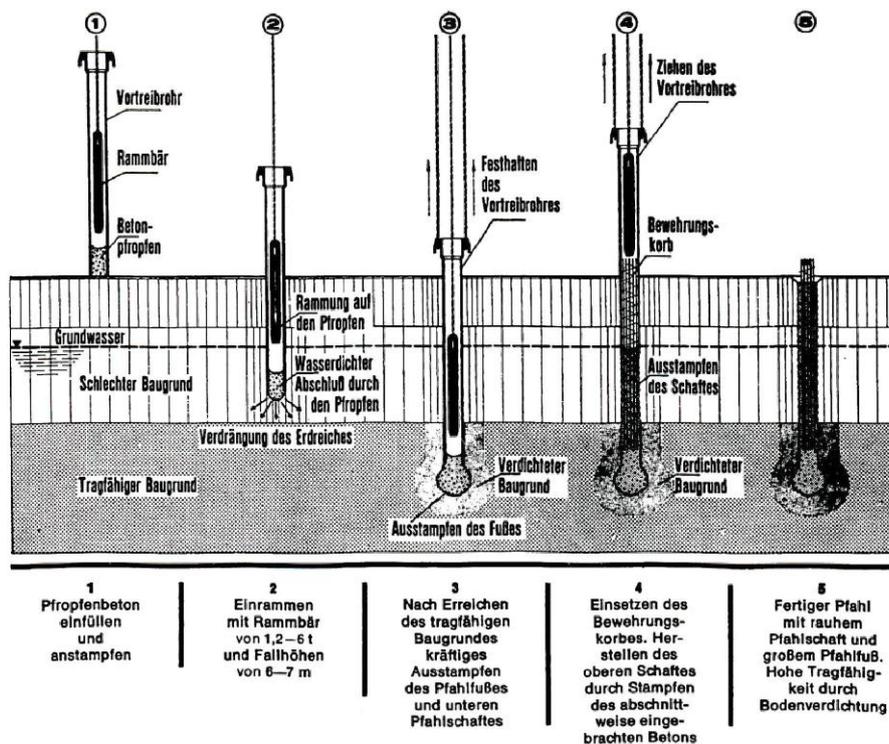


Abb. 21 Ortbeton-Rammpfahl System Franki [16]

3.2.1.3 Verpreßpfähle

Die verpreßten Verdrängungspfähle sind Fertigpfähle, die am Fuß einen größeren Querschnitt als am Schaft haben. Während des Einbringens wird der entstehende Hohlraum gefüllt oder unter Druck verpreßt. Die Verwendung von Beton oder Zementmörtel kann die Kraftübertragung zum umgebenden Baugrund verbessern.

Eine Besonderheit bei den Ortbetonpfählen ist die durchgehende Längsbewehrung. Die Herstellung solcher Pfähle erfolgt mittels Beton oder Zementmörtel.

Die Verbundpfähle haben ein durchgehendes vorgefertigtes Tragglied aus Stahlbeton oder Stahl. Das Erstellen dieses Traggliedes in den Boden ist auf zwei Arten erreichbar. Die eine Möglichkeit ist die Einstellung in einem Hohlraum in den Baugrund und die andere ist das Einbringen in den Boden mit der Hilfe eines gegenüber dem Tragglied vergrößerten Fußes, z.B. als Rammverpreßpfahl.

Die Rammverpreßpfähle sind oberhalb und unterhalb des Grundwasserspiegels herstellbar. Sie sind zur Verankerung von Uferwänden besonders gut geeignet, da sie vom Wasser aus ohne Beeinträchtigung der hafengebundenen Ufernutzung eingearbeitet werden können.

Eine Besonderheit der Verpreßpfähle ist der seit mehr als 30 Jahre verwendete Müller – Verpreßpfahl (MV – Pfahl) (siehe Abb. 22). Er ist ein Verbundpfahl und ist aus einer Pfahlschaft, an dem sich ein keilförmig ausgebildeter in Rammrichtung vollkommen geschlossener Pfahlschuh befindet, errichtet.

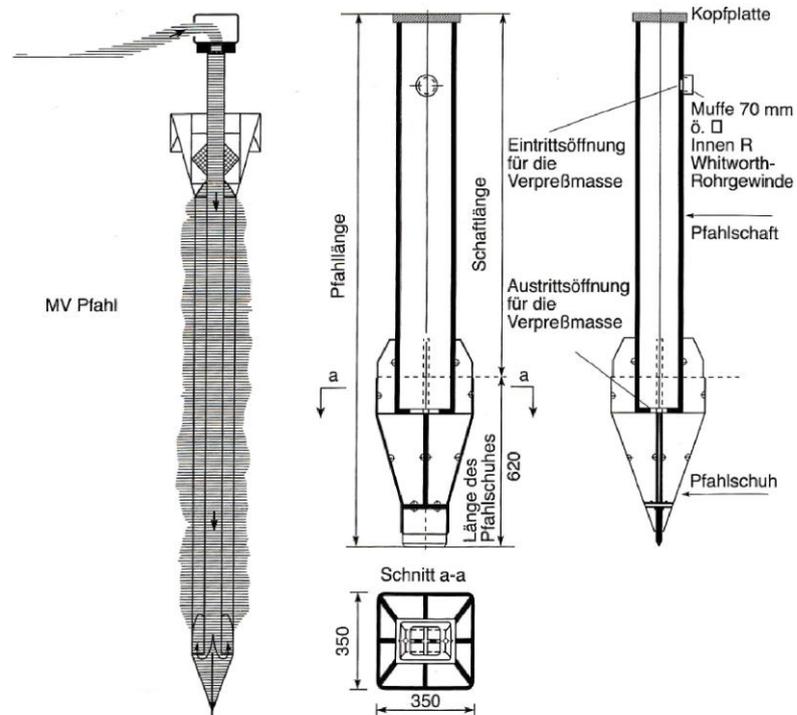


Abb. 22 Rammverpreßpfahl MV, Pfahlausbildung [16]

3.2.1.4 Schraubbohrpfähle

Die Schraubbohrpfähle sind ein Teil der Ort betonverdrängungspfähle. Sie werden mit einer kurzen Bohrschnecke aus Stahlguß und mit einem Stahlrohr als Bohrgestänge hergestellt. Die Schnecke wird in den Boden gedreht und dabei wird der Boden verdrängt. Wenn die Solltiefe erreicht wird, wird in das Bohrrohr ein Bewehrungskorb gestellt und Beton eingebracht. Dann wird die Spitze gelöst und das Rohr herausgedreht. Dieses Verfahren erstellt einen Pfahl nicht nur mit hoher Mantelreibung, sondern auch einen Pfahl der am Fuß auch einen Spitzendruck übertragen kann. Wenn weiche Deckschichten vorhanden sind, können Tiefen bis 30 m erreicht werden.

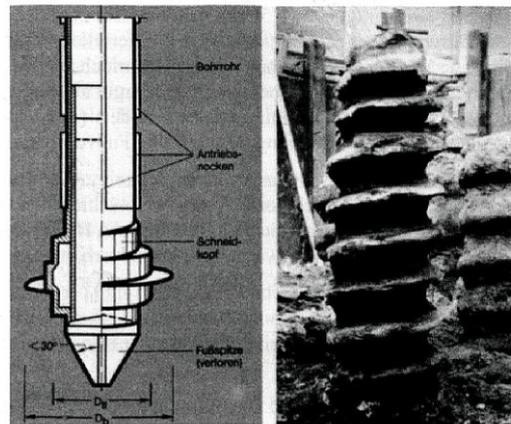


Abb. 23 Schraubbohrpfahl System Atlas[16]

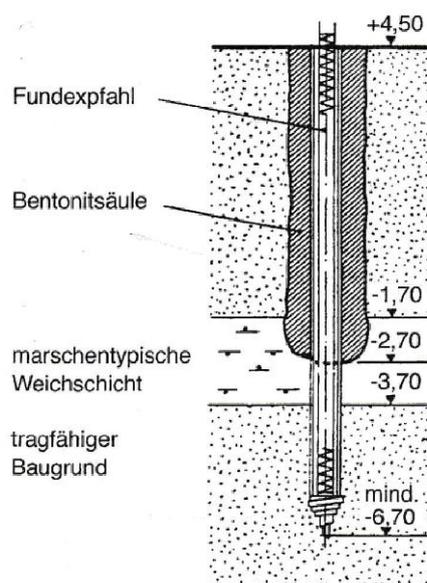


Abb. 24 Schraubbohrpfahl System FUNDEX [16]

3.2.2 Bohrpfähle

3.2.2.1 Großbohrpfähle

„Zu Beginn der sechsziger Jahre setzte die Entwicklung der Geräte für die Herstellung immer dickere und längere Pfähle ein. Zur Unterscheidung von den bis dahin gebräuchlichen „Bohrpfählen“ wurden Pfähle mit mehr als 50 cm Durchmesser „Großbohrpfähle“ genannt“¹³

Heutzutage sind diese Pfähle in der Lage einen Durchmesser von 3,0 m und in Sonderfällen eine Tiefe von 100 m zu erreichen. Man verfügt über verschiedene Möglichkeiten und Verfahren für die Herstellung des Bohrloches. Es kann verrohrt, durch Bentonitsuspension gestützt oder ungestützt hergestellt werden. Das Bohrgut wird aus dem

¹³ Seitz, Schmidt 2000, S.18.

Bohrloch mit Geräten intermittierend (z.B Greifer) oder kontinuierlich (z.B Bohrschnecke) gefördert. Dabei kommen auch Sondermaßnahmen wie Fußerverweiterung und Verpressung zur Verwendung.

Die gute Anpassungsmöglichkeit an Lasten und an den Baugrund, z.B. durch das große Spektrum an Durchmessern und die verschiedenen Herstellungsverfahren, ist einer der größten Vorteile der Bohrpfähle. Andere Besonderheiten des Verfahrens ist die mögliche Kontrolle der tatsächlich vorhandenen Bodenschichten durch das Bohrgut, die leichte Anpassung der Längen an unerwartete Baugrundverhältnisse und die „Umweltfreundlichkeit“. Bei Durchmessern ab 90 cm kann der Baugrund vor Ort durch Befahrung besichtigt und begutachtet werden. Die Großbohrpfähle haben noch den Vorteil, dass sie große Lasten durch einen einzigen Pfahl aufnehmen können. Sie sind biegesteif und weniger empfindlich gegenüber Ausführungsfehlern. Die verrohrten Bohrpfähle mit einem Durchmesser ab 80 cm werden heute besonders mit dem Einsatz von hydraulischen Verrohrungsmaschinen oder auch mit schweren Drehbohrungen errichtet.

Die Herstellung von Bohrpfählen mit großen Durchmessern mittels Bohrgeräte ist ergiebiger und hat sich durchgesetzt. Wegen der größeren Andruckkräfte dieser Bohrgeräte, entsteht immer ein Voreilen des Bohrrohres vor den Bohrwerkzeugen und das ermöglicht die Errichtung einer einwandfeien und sachgemäßen Bohrung ohne Bodensetzung.

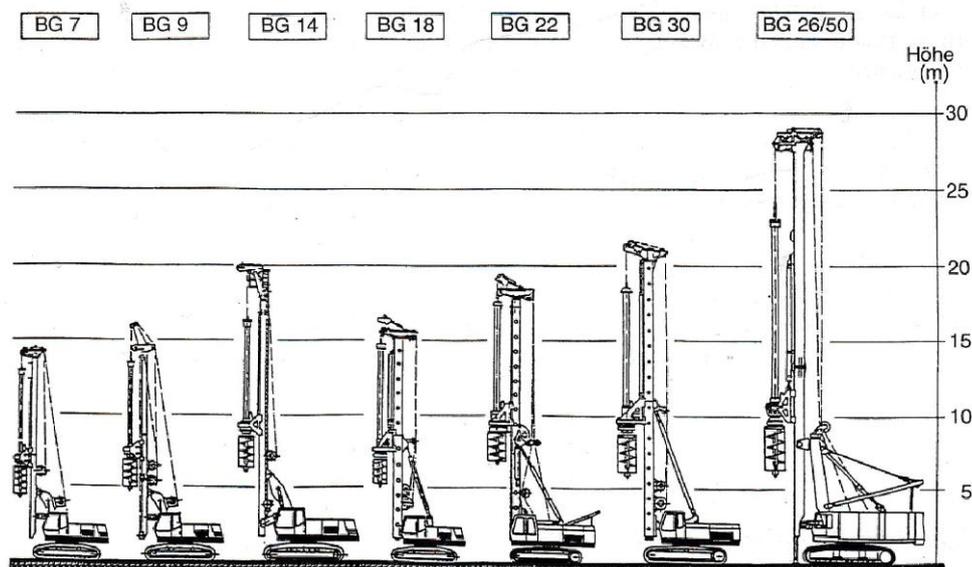


Abb. 25 Entwicklung der Großdrehbohrgeräte [16]

Das Konzept der Bohrpfähle beruht darauf, dass bei ihrem Aufbau ein Hohlraum in den Untergrund abgeteuft und der Pfahlschaft an Ort und Stelle, gegen den anstehenden Boden, betoniert wird.

Die Bodenförderung aus dem Bohrloch beim Trockendrehbohren erfolgt in der Regel mit der Hilfe von Greifern. Zur Bohrlochwandung bis zum Betonieren dienen dabei entweder eine Verrohrung, oder Flüssigkeitsüberdruck. Sie gewährleisten die Unmöglichkeit der Auflockerung und Entspannung der angrenzenden Bodenschichten. Der Druck des flüssigen Betons garantiert eine gute Verzahnung mit dem Baugrund. Für die bessere Lastübertragung kann in besonderen Fällen eine nachträgliche Verpressung der Fuß- und Mantelflächen zur Verwendung kommen.

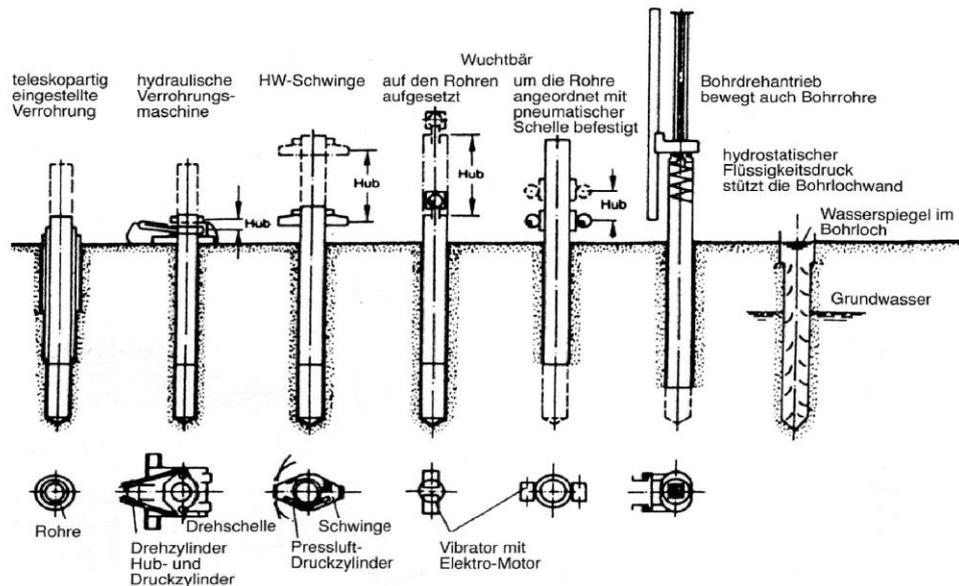


Abb. 26 Methoden zur Einbringung von Bohrröhre [16]

Für die Herstellung eines Bohrpfahles im freien Wasser oder in aggressiven Böden wird zum Schutz des Betonschaftes ein Stahlrohr im Boden abgeteuf. Die wichtigsten Parameter des Bohrpfahles sind:

- Maximaler Durchmesser bis 300 cm
- Maximale Tiefe bis 100,0 m
- Senkrecht oder geneigt bis 4:1

Die Bohrausrüstung ist in allen Bodenarten anwendbar – rollige Böden, bindige Böden, Arbeiten unter Wasser, wechselnder Baugrund, Fels, bei Bohrhindernissen u.s.w. Die Geräte sind aber in der Investition, Abschreibung und Verzinsung sowie bei der Reparatur teuer.

Der Querschnitt der Pfähle kann kreisförmig oder als Schlitzwandelement aufgebaut werden. Die einzige Bedingung ist, dass der Querschnitt in einem Arbeitsgang betoniert werden muss.

Bei der Herstellung eines Pfahles ist zu beachten, dass er folgende Eigenschaften haben muss:

- Konstanten Querschnitt

- Teleskopartig veränderliche Schaftabmessungen
- Schaft – oder Fußaufweitung

Die Pfahlschaft dient als ein tragendes Bauteil und bei der Herstellung können folgende Materialien zum Einsatz kommen :

- unbewehrter Beton
- Stahlbeton
- Beton mit spezifischer Bewehrung – Stahlrohre, Stahlprofile, Stahlfasern
- Betonfertigteile

Bei dem Aufbau von einem Pfahl ist es besonders wichtig, dass Wasser und Erdreich nicht unkontrolliert in das Bohrloch eindringen dürfen, dazu verwendet man Maßnahmen wie z.B. :

- „Verrohrung
- *Stützende Flüssigkeit – Bentonitsuspension oder andere*
- *Gänge, gefüllt mit Aushubboden, bei durchgehender Bohrschnecke*¹⁴

Zum Bodenaushub im Bohrloch verwendet man entweder ein diskontinuierliches oder ein kontinuierliches Verfahren. Für das diskontinuierliche Verfahren können Werkzeuge wie Greifer, Schappen, Schnecken, Bohreimer oder Meißel verwendet werden. Bei den anderen Verfahren benutzt man eine durchgehende Bohrschnecke, drehend oder schlagend arbeitende Bohrwerkzeuge, in Verbindung mit Schneckenförderung oder Spülverfahren.

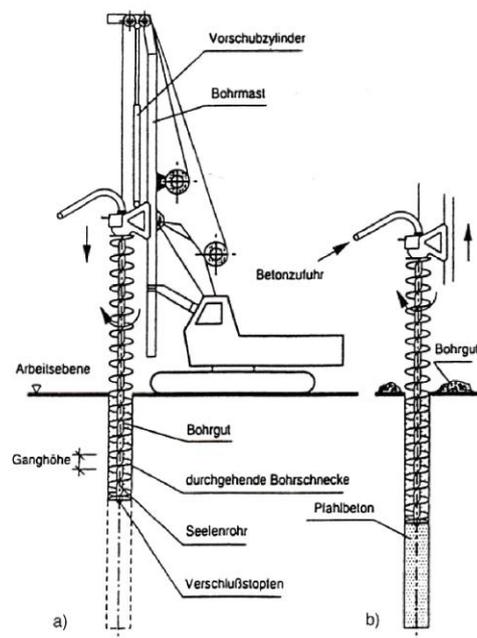


Abb. 27 Bohrverfahren mit durchgehender Bohrschnecke. Der Antrieb erfolgt über Drehtisch oder Kraftdrehkopf. Der Baugrund wird durch die mit Bohrgut gefüllten Schneckengänge gestützt : a) Bohren b) Betonieren [16]

¹⁴ Seitz, Schmidt 2000, S.20

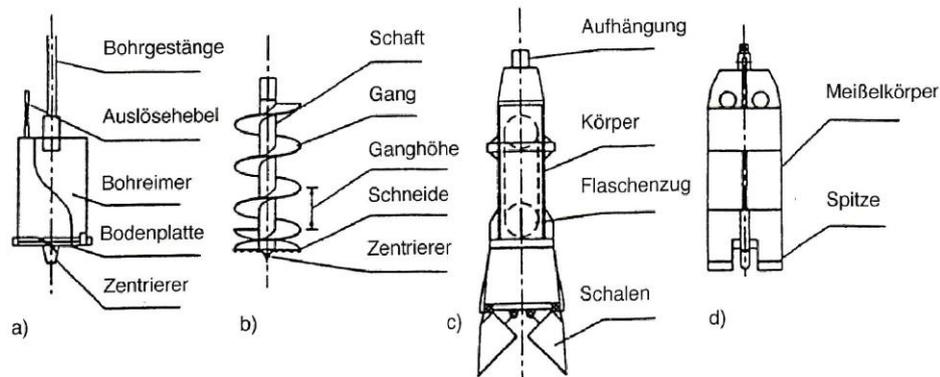


Abb. 28 Werkzeuge für diskontinuierlichen Aushub

a)Bohreimer b)Bohrschnecke c)Bohrgreifer d)Fallmeißel [16]

3.2.2.2 Verpreßpfähle mit kleinem Durchmesser

Die Verpreßpfähle mit kleinem Durchmesser sind Verpreßpfähle aus Ortbeton und Mikropfähle.

Verpreßpfähle aus Ortbeton mit kleinem Durchmesser sind seit Jahren in Ländern wie Italien, Schweiz, Frankreich, Großbritannien bekannt. Der am meist verbreitetste Pfahl an diesen Kleinbohrpfählen sind die Wurzelpfähle. Sie sind kleine Injektions – Bohrpfähle und haben eine Dicke von 8 bis 30 cm. Ihre Herstellung wird in der Regel mittels Drehbohrverfahren durchgeführt (siehe Abb. 28).

Mit dem Einsatz von Luft-, Wasser- oder Dickspülung werden Rohre in den Boden gestoßen. Nach dem Erreichen der Endtiefe wird der Pfahl bewehrt und in Kontraktorverfahren betoniert, wobei man zementreichen Beton verwendet. Der Beton wird während des Ziehens des Rohres mit Druckluft verdichtet. Damit ein fester Verpreßpfahl entsteht, wird ausreichend Zementleim in den Nachbarboden gepresst.

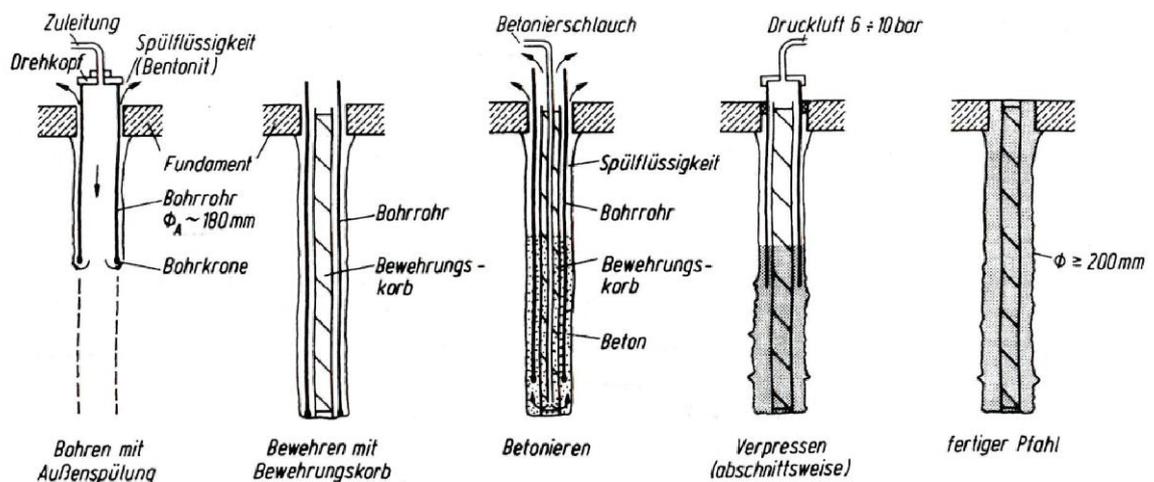


Abb.27 Hestellen eines Verpreßpfahles im Drehbohrverfahren [16]

Dieser Pfahltyp kann senkrecht oder auch mit einer Neigung kleiner als 2:1 hergestellt werden. Die Lastübertragung auf dem Baugrund erfolgt mittels Mantelreibung. Die erforderliche Bewegung zur Mantelreibungsaktivierung liegt wegen der Verpressung im Bereich von einigen Millimetern. Wenn die tragfähige Bodenschicht tief liegt, kann die Dehnung des meist hoch ausgelasteten Schaftes außerordentliche Werte haben.

Die Verpreßpfähle können auch als Zugpfähle zur Verankerung von Horizontalkräften dienen.

Sie haben bestimmte Vorteile aber auch Nachteile. Zu den Vorteilen können die geringen Setzungen, die Herstellungsmöglichkeit unter beengten Verhältnissen, die Anpassungsfähigkeit in der Länge und an die Baugrundverhältnisse erwähnt werden. Als Nachteile des Verfahrens können die geringe Biegesteifigkeit, die verhältnismäßig geringe Tragfähigkeit des Einzelpfahles und das Erfordernis an großer Sorgfalt bei der Herstellung ausgewiesen werden.

Diese Pfähle finden ein sehr großes Einsatzgebiet bei der Sanierung von mangelhaften Gründungen, besonders auch von historischen Bauten. Sie sind auch gut geeignet für die Errichtung von U-Bahnstrecken in offener Bauweise.

Die Mikropfähle werden seit den 70er Jahren hergestellt. Sie sind die Bohrpfähle mit dem kleinsten Durchmesser – zwischen 40 mm und 250 mm. Man kann sie in unterschiedlichen Bodenarten senkrecht oder geneigt errichten. Diese Pfähle beinhalten ein Stahlglied welches bei Bedarf gestoßen werden kann. Es muss innerhalb des Bohrlochs so platziert werden, dass es an allen Stellen eine ausreichende Zementeindeckung gewährleistet. Zum Stahltragglied dienen üblicherweise :

- Ein Stahlkern, z.B GEWI-Ein- und Mehrstabpfähle
- Bewehrungskorb
- Stahlrohr

Die Mikropfähle können verrohrt oder unverrohrt errichtet werden. Nach der Montage des Traggliedes wird der Raum zwischen Tragglied und Bohrlochwand von unten nach oben mit einem passenden Zementmörtel verpreßt.

Mikropfähle werden bevorzugt bei der Bauwerksanierung, wo die alte Bausubstanz verstärkt eingesetzt werden muss. Der Ausführungsprozess kann in sehr engen Platzverhältnissen erfolgen.

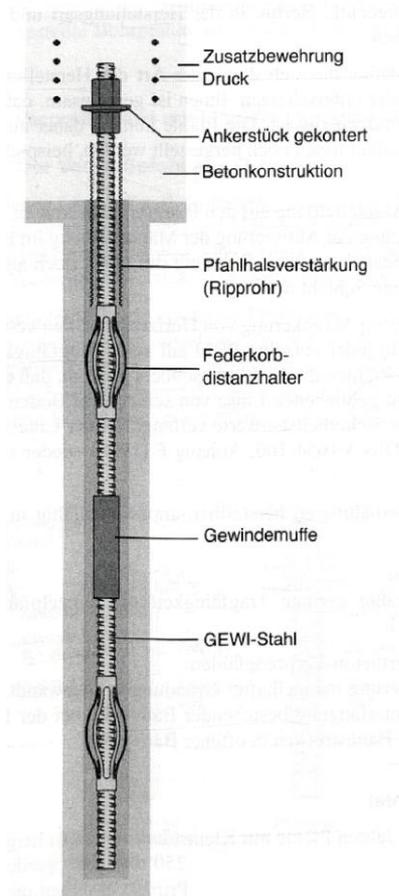


Abb. 29 Mikropfahl System „GEWI“ [16]

3.2.3 Vor – und Nachteile bei der Herstellung von Bohrpfählen und Verdrängungspfählen

Ein ausführlichen Vergleich zwischen den beiden Verfahren zu erstellen ist schwierig, weil viele Parameter berücksichtigt werden müssen, z.B. Herstellkosten, Ausführungsart, Umfeld, Ziel der Gründung u.s.w.. Ein Näherungsvergleich als Hinweis für die Auswahl von Pfahltypen haben Seitz und Schmidt in ihrem Buch „Bohrpfähle“ ausgearbeitet. Sie haben folgenderweise die Vor – und die Nachteile der beiden Verfahren bestimmt ¹⁵ :

„Vorteile der Bohrpfähle

- *Große Durchmesser bis 300 cm möglich*
- *Hohe Tragfähigkeit*
- *Pfahllängen bis 100 m möglich*
- *Querschnittsformen herstellbar, die sehr biegesteif sind*
- *Harte Bodenschichten können durchfahren werden*
- *Bohrhindernisse können überwunden werden. Steine und Felsbrocken, die im Lockergebirge eingelagert sind, werden durchteuft*

¹⁵ Seitz, Schmidt 2000, S 28.

- *Die durchfahrenen Schichten und die Gründungssohle können genau überprüft werden*
- *Leichte Anpassung der Pfahllängen an die Untergrundverhältnisse*

Nachteile der Bohrpfähle

- *Die Ausführung erfordert eine anspruchsvolle Bohrausrüstung und qualifiziertes Fachpersonal*
- *Pfahlachse und Pfahlquerschnitt bei dünnen Pfählen bisweilen schwierig einzuhalten*
- *Bei unverrohrter Bohrung Gefahr von Bodeneinbruch*
- *Gefahr, die Beschaffenheit des Untergrundes in der Pfahlumgebung zu stören*
- *Qualität der Ausführung sehr von der Sorgfalt und Erfahrung der Bohrmannschaft abhängig*
- *Neigung begrenzt*

Vorteile der Verdrängungspfähle

- *Schnelle Ausführung*
- *Länge der Querschnittsform beliebig*
- *Gute Reibung zwischen Pfahl und Untergrund, durch seitliche Verdichtung der durchfahrenen Bodenschichten*
- *Herstellen der Pfähle im Trockenen*
- *Pfähle an die Untergrundverhältnisse anpaßbar*
- *Saubere Baustelle, kein Bohrgut*
- *Kontrolle der Tragfähigkeit durch Rammwiderstand*

Nachteile der Verdrängungspfähle

- *Risiko einer ungenügenden Einbildung des Pfahlfußes in die tragende Schicht*
- *Schwierigkeiten bei dem Durchörten von harten Bodenschichten*
- *Die Gefahr, benachbarte Pfähle zu schädigen, wenn der Beton noch nicht abgebunden hat*
- *Maximaler Durchmesser < 70 cm*
- *Abweichungen während des Einbringens*
- *Mitunter große Lärmentwicklung beim Einbringen“*

3.3 Bohrpfahlwände

Die Bohrpfahlwände haben eine stützende Funktion und sind in der Regel von Großbohrpfählen, die in einer Reihe angeordnet werden, errichtet. Die Abstände zwischen den einzelnen Pfählen sind verschieden. Die Bohrpfähle haben eine sehr große Biegesteifigkeit und sie verhindern die Bodenbewegungen beim Bodenaushub hinter der

Wand. Die Bohrpfahlwände finden oft Einsatz bei der Baugrubenumschließung im unmittelbaren Druckausbreitungsbereich von Bauwerken.

Abhängig vom Abstand zwischen den Bohrpfählen unterscheidet man drei Arten von Bohrpfahlwänden :

- Überschnittene Pfahlwand
- Tangierende Pfahlwand
- Aufgelöste Pfahlwand

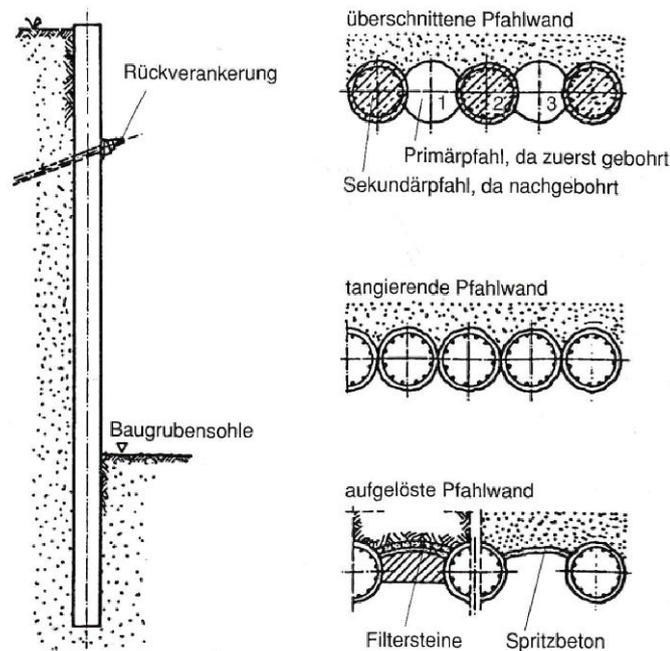


Abb. 30 Ausführungsarten von Bohrpfahlwänden [16]

Zum Bohren der verschiedenen Pfahlwandtypen verwendet man speziell errichtete Bohrschablonen (siehe Abb. 31). Sie sind aus Stahlbeton hergestellt und gewährleisten ein genaues Ansetzen und Führen der Bohrrohre während der ersten Bohrmeter. Bohrschablonen sind ca. 30 cm hoch und an Ort und Stelle aufgebaut. Außer Längsbewehrung weisen sie eine Querbewehrung auf, die zur Verbindung der Schablonenhälften dient. Während des Bohrens und Ziehens der Bohrrohre werden sie von den Verrohrungsmaschinen sehr beansprucht. Deshalb ist es besonders wichtig, dass sie stabil und auf einen entsprechend tragfähigen Untergrund aufgebaut werden.

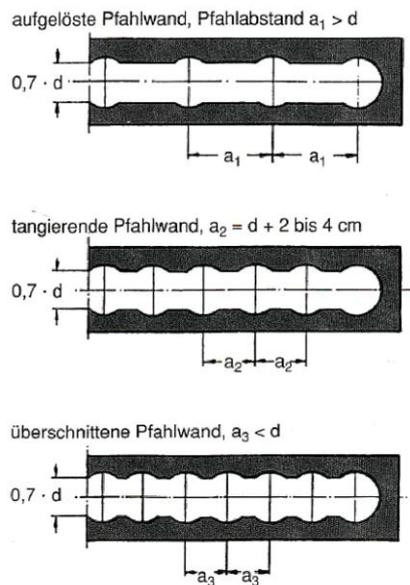


Abb. 31 Bohrschablonen für Pfahlwände [16]

Die aufgelösten Pfahlwände sind dadurch charakterisiert, dass bei ihnen der Achsabstand der Pfähle größer ist als der Pfahldurchmesser und somit ein Zwischenraum entsteht (siehe Abb. 32). Diese Pfahlwandart wird dort eingesetzt, wo der Baugrund so lange standfest ist, bis der Zwischenraum zwischen den Pfählen freigelegt und eventuell mit einer Spritzbetonschicht gesichert ist. Voraussetzung hierfür ist, dass mehr als der halbe Umfang der Pfähle freigelegt wird, damit der wirkende Spritzbeton ein gutes Widerlager an der Pfahloberfläche vorfindet. aufgelöste Pfahlwände müssen oberhalb des Grundwasserspiegels errichtet werden. Wegen statischen Anforderungen werden die einzelnen Pfähle bewehrt aufgebaut.

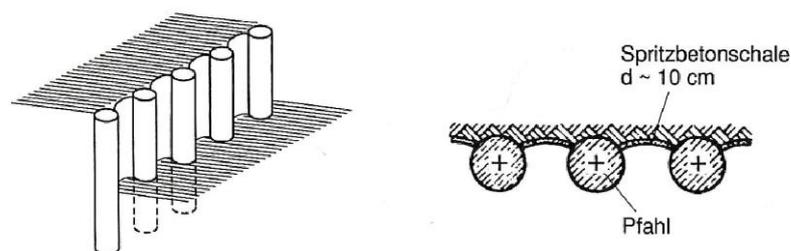


Abb. 32 aufgelöste Pfahlwand mit Spritzbetonschale zwischen den Pfählen [16]

Die tangierenden Bohrpfahlwände besitzen mehr tragenden Querschnitt pro Meter Wandfläche und sind in der Lage größere Momente und Querkräfte abzutragen. Ähnlich wie bei der aufgelösten Pfahlwand, müssen die freizulegenden Wandflächen oberhalb des Grundwasserspiegels liegen und alle Einzelpfähle werden bewehrt errichtet. Bei den tangierenden Bohrpfahlwänden sind die Einzelpfähle nebeneinander gereiht, wobei der theoretische Zwischenraum 2 – 4 cm beträgt; praktisch berühren sie sich.

Dieser Wandtyp wird eingesetzt im Falle des Hindurchrieseln von lockerem Boden zwischen den Pfählen beim Baugrubenaushub. Bei standfesten Bodenarten wird er wegen statischen Gründen verwendet.

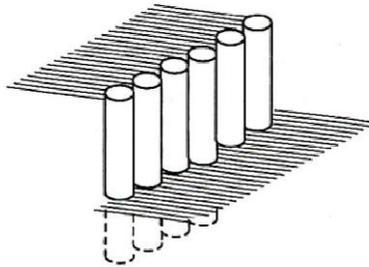


Abb. 33 Tangierende Bohrpfahlwand [16]

Die Herstellung der Pfähle verlangt eine große Genauigkeit. Es muss besonders auf ihre lotrechte Stellung geachtet werden. Einer der größten Missfälle bei dem Errichtungprozess ist das Abbohren des schon aufgebauten Nachbarpfahles, bei dem dessen Bewehrung zerstört werden kann. Eine Abweichung der Bohrung von der Baugrube ist außerdem unerwünscht, weil sie zu einer Öffnung des Spalts zwischen den betroffenen Pfählen führt.

Eine überschnittene Bohrpfahlwand wird durch Überschneiden der Bohrungen der Einzelpfähle errichtet (siehe Abb. 34). Der Achsabstand ist im Vergleich zum Pfahldurchmesser kleiner. In der Regel verwendet man zum Abteufen hydraulische Verrohrungsmaschinen.

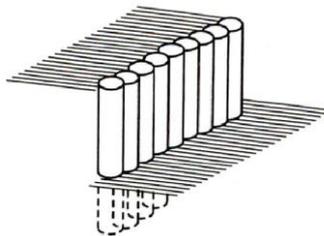


Abb. 34 Überschnittene Bohrpfahlwand [16]

Bei der Errichtung der Wand wird zunächst nur jeder zweite Pfahl gebohrt und betoniert, in der Reihenfolge 2,4,6 (siehe Abb. 35). Diese Pfähle sind als Primärpfähle gekennzeichnet. Sie werden nicht bewehrt, damit die Zwischenbohrungen 1,3,5 eingeschnitten werden können.

Das Herstellungsschema wird in dem Buch „Bohrpfähle“ von Seitz und Schmidt folgenderweise dargestellt:

„Pfahl 2 bohren und betonieren, dann wird Pfahl 1 gebohrt, Bewehrungskorb eingestellt und betoniert, dann wird Pfahl 4 hergestellt. Dieser wird ein nicht bewehrter Pfahl. Mit dem

Pfahl 3, der als nächster herzustellen ist, werden die Pfähle 2 und 4 angeschnitten usw., usw.“¹⁶

Die Festigkeitsklasse des Betons der Primärpfähle wird nach statischen und herstellungstechnischen Anforderungen gewählt. Es wird bevorzugt Betonarten zu verwenden, die eine ergiebige Überschneidung der Zwischenpfähle gewährleisten können. Üblicherweise kommt für die Herstellung der Sekundärpfähle ein Beton mit geringer Festigkeit zum Einsatz. Diese Maßnahme ermöglicht ein leichteres Anschneiden der Nachbarpfähle und verringert das Abweichen des Bohrrohres von der Sollrichtung.

Die Pfähle 3,5,7 sind als Sekundärpfähle gekennzeichnet. Sie werden bewehrt erstellt und verlangen einen Beton mit Mindestfestigkeitsklasse B25. Diese Pfähle haben eine tragende Funktion, vor allem für Horizontalbeanspruchungen. Zusammen mit den Primärpfählen errichten sie eine wasserdichte Baugrubenumschließung.

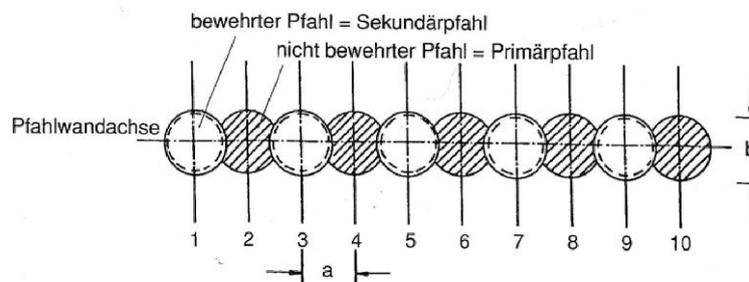


Abb. 35 Überschnittene Bohrpfahlwand [16]

3.4 Hindernisse bei der Herstellung von Bohrpfählen

Bei der Herstellung von Bohrpfählen muss eine Reihe von Faktoren beachtet werden, die den Errichtungsprozess erheblich stören und kostspielige Maßnahmen verlangen könnten. Wegen der kleinen Durchmesser der Aufschlußbohrungen, werden manche von ihnen bei der Baugrunderkundung nicht berücksichtigt. Sie können aber wegen örtlicher Erfahrungen, z.B. mit benachbarten Baugruben, der Kenntnis der geologischen Verhältnisse oder einer früheren Nutzung des Baugeländes vermutet werden. Die entscheidenden Beispiele können wie folgt zusammengefasst werden :

- Bindige Böden mit geringer Plastizität – diese Böden haben die Eigenschaft sich durch geringen Wasserzutritt und mechanische Beanspruchung von steifplastischen in breiigen bis zu flüssigkeitsähnlichen Zustand umzuwandeln.
- Bohrhindernisse – infolge ehemaligen Bebauung sind Fundamentreste oder Betonplatten im Untergrund oft anzutreffen. Sie können von den Aufschlußbohrungen nicht herausgefunden werden, aber sie sind aufgrund der Geschichte des Bauortes zu vermuten.

¹⁶ Seitz, Schmidt 2000, S.278.

- Weiche bindige Böden – sie können an der Verrohrung leicht haften, unter dem Druck des eingebauten Frischbeton seitlich entgehen oder unter bestimmten Voraussetzungen den Betonschaft einengen.
- Sandlinsen in bindigen Böden – Die stützende Flüssigkeit übt eine Strömungskraft aus, wenn sie unter Überdruck seitlich in den Baugrund aus dem Bohrloch austritt. Eine von bindigem, undurchlässigem Boden umschlossene Sandlinse lässt sich aber nicht stützen und gerät in das Bohrloch.
- Sandarme, grobe Kiese – Solche Böden können wegen ihrer großen Durchlässigkeit und des Gewichtes des Einzelkornes von dem Flüssigkeitsüberdruck unzureichend oder gar nicht gestützt werden.
- Große Steine, eingebettet in bindigem oder nichtbindigem Böden – Die Tätigkeit der zum Einsatz kommenden Meißel wird erschwert.
- Hartes oder abrasives Gestein – der Aufwand beim Meißeln und den Werkzeugverschleiß können in solchen Fällen nicht beurteilt werden.
- Artesisches Grundwasser – Bohren in einer Bodenschicht reich an gespanntem Wasser verlangt eine große Vorsicht, weil ein Aufbruch des Bodens und Auflockerungen entstehen können. Wenn die Druckhöhe über der Geländeoberfläche liegt, sind besondere Maßnahmen nötig, um einen Wasserüberdruck im Rohr zu erzielen.
- Aggressive Wässer oder Böden - verlangen Schutzmaßnahmen und besondere Materialien.
- Kontaminierter Baugrund, Gase – In diesen Fällen ist die Befahrbarkeit der Bohrung problematisch. Die Beseitigung des Bohrgutes ist wird erschwert.

3.5 Schadensfälle an Pfählen

3.5.1 Schadensursachen

Die große Vorsicht der Fachleute bei dem Herstellungsprozess eines Pfahles ist manchmal nicht genügend um Schadensfällen verhindern zu können.

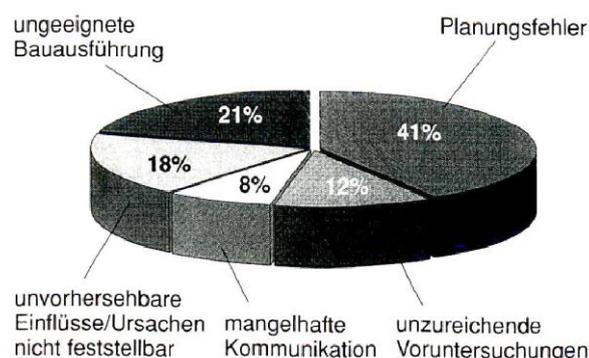


Abb. 36 Verteilung der Bauschäden nach Schadensursachen [16]

Mannigfaltige Untersuchungen bringen in Erfahrung, dass die Mehrzahl der Bauschäden sich über die Gebiete der Voruntersuchung, Planung und Kommunikation erstrecken. Die Planung ist entgegen der Bauausführung noch nicht Hauptbestandteil von systematischen, qualitätssichernden Maßnahmen. In diesem Bereich aber werden die wichtigsten Bedingungen für die Qualität und für die Zuverlässigkeit eines Bauwerkes ausgearbeitet. Vielmals sind die Geologie, Material, Maschinen oder Mensch die Grundlage der Fehler. Das führt zu zahlreichen Kombinationsmöglichkeiten und ein Schadensfall kann aufgrund mehrerer Ursachen entstehen.

3.5.2 Fehlerquellen

Als Ursache für ein Schadensfall können folgende Quellen verantwortlich sein :

Untergrund

- Untergrundverhältnisse nicht oder nicht ausreichend bekannt
- Unzureichende Baugrunderkundung – nicht tief genug unter die geplante Gründungssohle
- Aggressiver Baugrund
- Teilweise oder voll unbekannt örtliche Bodenbeschaffenheit und Grundwasserverhältnisse
- Erhebliche Fließbewegung im Wasser, die bereichsweise den Frischbeton auswäscht
- Störung des Bodens, was als Nachfolge verringerte Mantelreibung und/oder Spitzendruck hat

Baustoffe

- Mangelhafte Qualitätsprüfung der verwendeten Baustoffe : Beton, Suspension
- Falsche Zusammensetzung des Betons
- Nicht ausreichende Bearbeitung des Bewehrungskorbes
- Nicht zusammenpassende Abmessungen Bohrrrohr / Bewehrungskorb

Geräte / Werkzeug

- Die Verwendung nicht passender Geräte oder Werkzeuge
- Beschädigtes Werkzeug im Einsatz
- Teillieferung der notwendigen Werkzeuge auf die Baustelle
- Baggerseil reißt
- Durch unangepassten Einsatz Gewaltschäden an Werkzeug und Gerät

Bauausführung

- Falsche Bestimmung des Bohransatzpunktes
- Verlauf des Pfahles beim Herstellen
- Auswahl eines falschen Bohrverfahrens

- Mangelhafte oder keine Kontrolle auf der Baustelle durch den Auftraggeber oder durch das ausführende Unternehmen
- Ein zu knapper Preis oder zu strenge Zeitplanung, die Leistungen verlangen, die mit der Durchführung einer sorgfältigen Arbeit nicht verträglich sind
- Ungeeignete oder fehlerhafte Betoniergeräte
- Schlecht ausgeführte Betonierung
- Unregelmäßige Betonzufuhr
- Ein zu großen Zeitunterschied zwischen Bohren und Betonieren, was Einbrüche oder Absetzvorgänge an der Bohrsohle hervorrufen kann
- Einsatz von einem Meißel in einer zu geringen Entfernung von einem Pfahl, dessen Beton noch nicht abgebunden ist

Mensch

- Nicht ausreichende Organisation auf der Baustelle
- Unerfahrenes oder nicht genug ausgebildetes Personal
- Keine oder teilweise Protokollierung des Bauprozesses
- Selbstüberschätzung, Inkompetenz, Mangel an Sorgfalt
- Keine Beherrschung der Verfahrensschritte bei der Herstellung eines Pfahles

3.5.3 Fehler an Pfählen

Fehler an Pfählen können meistens auf den Pfahlfuß, Pfahlschaft oder den Pfahlkopf zurückgeführt werden.

3.5.3.1 Fehler am Pfahlfuß

Fehler am Pfahlfuß sind sehr häufig anzutreffen. Sie haben einen großen Effekt auf Pfähle, die auf Spitzendruck ausgelegt sind z.B., wenn die Pfähle mit bleibenden Schutzrohren oder Hüllen projiziert sind. Als Nachfolge der Fehler kommt es zur Verringerung der Tragfähigkeit und zu größeren Setzungen. Ein Beton schlechter Qualität am Pfahlfuß stört im Prinzip die Stabilitätsbedingungen einer Gründung wenig, weil die zu erwartenden Beanspruchungen selten größer als die Tragfähigkeit sind. Trotzdem, werden fehlerhafte Pfahlfüße durch Injektionen saniert. Eine Sanierung und die feste Kontrolle ihrer Wirksamkeit sind notwendig, wenn die Deviation das Tragverhalten in Bezug auf horizontale Kräfte vermindern kann.

Die meisten Probleme an den Pfahlfüße sind mit einem fehlerhaften Pfahlfußkontakt oder mit einer Auflockerung/Störung des anstehenden Bodens verbunden. Fehlerhafter Pfahlfußkontakt kann infolge einer ungenügenden Reinigung der Bohrsohle (Zwischenschaltung einer Mischung aus Suspension und Bodenablagerungen zwischen Beton und Boden) passieren. Auflockerungen des Bodens entstehen wegen dem Einsatz eines Bohrverfahrens, das für die Bodensbeschaffenheit wenig geeignet ist. In beiden

Fällen sind Setzungen möglich, welche für das Bauwerk nicht zulässig sind. Für diese Art von Mängeln dient eine Injektion als ausreichendes Rettungsmittel.

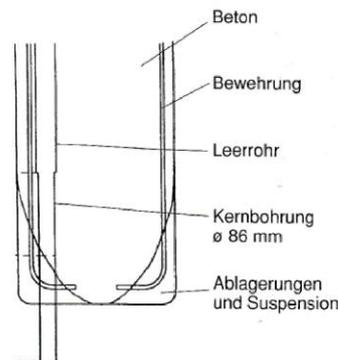


Abb. 37 Schematischer Schnitt durch einen Pfahlfuß. Die abgerundete Form wird durch den Einschluss einer Mischung aus Suspension und Ablagerungen zwischen Beton und Untergrund verursacht [16]

3.5.3.2 Fehler am Pfahlschaft

Fehler am Pfahlschaft sind mit Diskontinuitäten verbunden :

- Auswüchse, die durch das Ausweichen einer weichen Schicht unter dem Frischbetondruck oder durch Überprofil der Bohrung entstanden sind
- Einschnürungen des Pfahldurchmessers, die Nachfolge des horizontalen Druckes des Bodens sind
- Suspensionseinschlüsse mit verschiedener Bedeutung, infolge Herausziehens des Betonierrohres aus dem Beton während der Errichtung; lokale Einschlüsse von Sedimenten
- Auswaschungen infolge rascher horizontalen Fließbewegung des Grundwassers
- Unsachgemäße Flucht aufgrund von Bohrabweichungen

„Auch wenn im Prinzip Auswüchse und manche begrenzten Einschlüsse von Suspension die Tragfähigkeit nicht in unzulässigem Maß beeinträchtigen, so stellen Einschnürungen, fehlerhafte Flucht, größere Suspensionseinschlüsse und ganz besonders Fehlstellen über den gesamten Querschnitt um so schwerwiegendere Fehler dar, je kleiner die Zahl der Pfähle und je größer die aufgebrachte Last ist.“¹⁷

Die Verwendung eines unzureichend verarbeiteten Betons kann auch ein Problem werden. Der Einsatz von einem Beton mit geringem Ausbreitmaß ist oft nicht in der Lage die notwendige Überdeckung der Bewehrung zu gewährleisten. Solche Mängel können auch mit Ultraschal oder Kernbohrungen nicht festgestellt werden.

¹⁷ Seitz, Schmidt 2000, S.424.

Eine Sanierung der Pfahlschaft ist nicht nur schwieriger als beim Pfahlfuß, sondern auch kostspielig. Es ist sogar empfehlenswert die Sanierung durch einen oder mehrere Zusatzpfähle zu ersetzen.

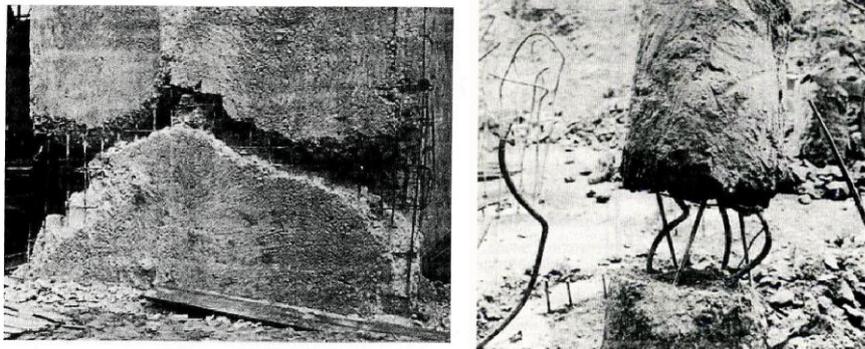


Abb. 38 Fehler im Querschnitt eines Pfahlschafates [16]

3.5.3.3 Fehler am Pfahlkopf

Ein der häufigsten Fehler bei der Ausführung von Pfählen ist die fehlende oder nicht ausreichende Reinigung durch Überlaufenlassen am Ende des Betonierens, was zu Einschlüssen von Suspension oder Sedimente führt. In solchen Fällen ist die Entfernung des fehlerhaften Bereiches durch Abstemmen und seine Ersetzung durch gesunden Beton, notwendig.

Schlechte Überdeckung der Bewehrung kann eine Verminderung der Dauerhaftigkeit der Gründung hervorrufen. Als Hilfsmaßnahme hier gilt die Entfernung des fehlerhaften Bereiches durch Abstemmen und der Neuaufbau mit einem im Trockenen geschütteten Beton.

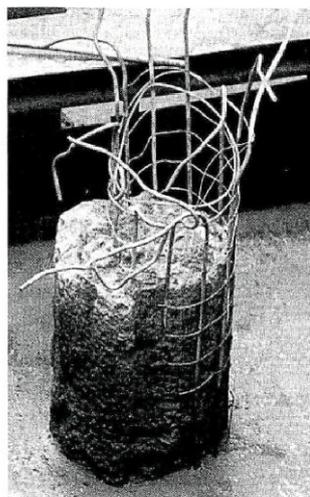


Abb. 39 Schlechte Zentrierung eines Bewehrungskorbes am Pfahlkopf [16]

3.5.4 Beispiele an Schadensfällen bei der Pfahlherstellung – Auswirkungen auf Leistung und Kosten

Die Schadensfälle können verschiedener Herkunft sein. Sie beeinträchtigen den Herstellungsprozess und haben eine negative Auswirkung auf Leistung und Kosten. In den nächsten Zeilen werden die oft anzutreffenden Schadensfälle, deren Ursache und deren Folgen dargestellt :

3.5.4.1 Beispiel : Baugrunderkundung

Schadensfall : Bei einem vorgegebenen Bodenprofil werden während des Betriebes andere Schichten entdeckt, vor allem in der Gründungsebene

Ursache : Ungenaue Bodenerkundung

Folgen : Unmöglichkeit der Pfahl in der vorgesehenen Bodenschicht zu gründen. Er muss tiefergeführt als geplant werden. Es entstehen Mehrkosten für Bewehrung, Beton, Personal, Geräte. Unter Umständen ist es möglich auch das Verfahren zu ändern.

3.5.4.2 Beispiel : Inkorrekt gearbeiteter Bewehrungskorb

Schadensfall : Aufgrund unzureichender Steifigkeit des Bewehrungskorbes, lehnt er sich an das Bohrrohr an und wird beim Ziehen des Bohrröhres mitgezogen.

Ursache : Nicht genügendes Spiel zwischen Bohrrohr und Bewehrungskorb, was zum Mitziehen des Bewehrungskorbes durch die Reibung führt.

Folgen : Der Beton muss ausgegriffen und die Abteufung des Bewehrungskorbes muss wiederholt werden. In diesem Fall entstehen hohe Zusatzkosten- für das wiederholte Ausgreifen und den neuen Bewehrungskorb.

Beispielkalkulation: Mitziehen des Bewehrungskorbes beim Ziehen des Bohrröhres

Die Baugrube eines Sportsaales ist durch eine überschnittene Bohrpfahlwand zu sichern. Die Baugrube hat die Abmessungen 40 m x 60 m und die geplante Baugrubensohle liegt 16,0 m unter der Geländeoberkante (GOK) (siehe Abb. 40). Die Bohrpfahlwand wird durch 4 Ankerreihen abgestützt. Der Durchmesser eines einzelnen Pfahles beträgt 0,60 m und der Achsabstand der Pfähle ist 0,50 m (siehe Abb. 41). Bei der Errichtung der Sekundärpfähle (bewehrte Pfähle) ist ein Mitziehen der Bewehrungskörbe beim Ziehen des Bohrröhres manchmal anzutreffen. Die Ursache dazu ist ein nicht genügendes Spiel zwischen Bohrrohr und Bewehrungskorb. In diesen Fällen wird der Beton ausgegriffen und die Abteufung des Bewehrungskorbes und das Betonieren wiederholt.

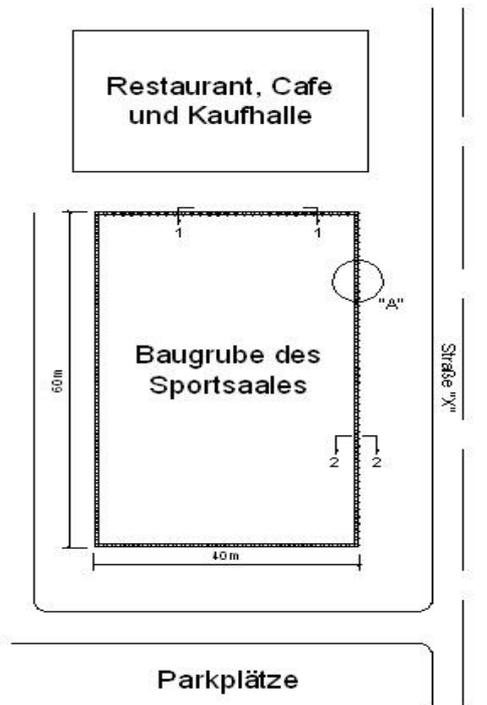


Abb. 40 Lageplan der Baugrube

Detail "A"

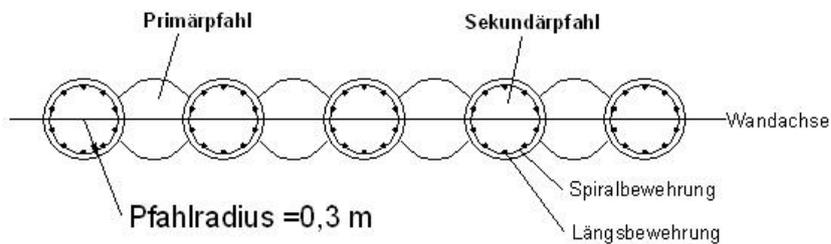
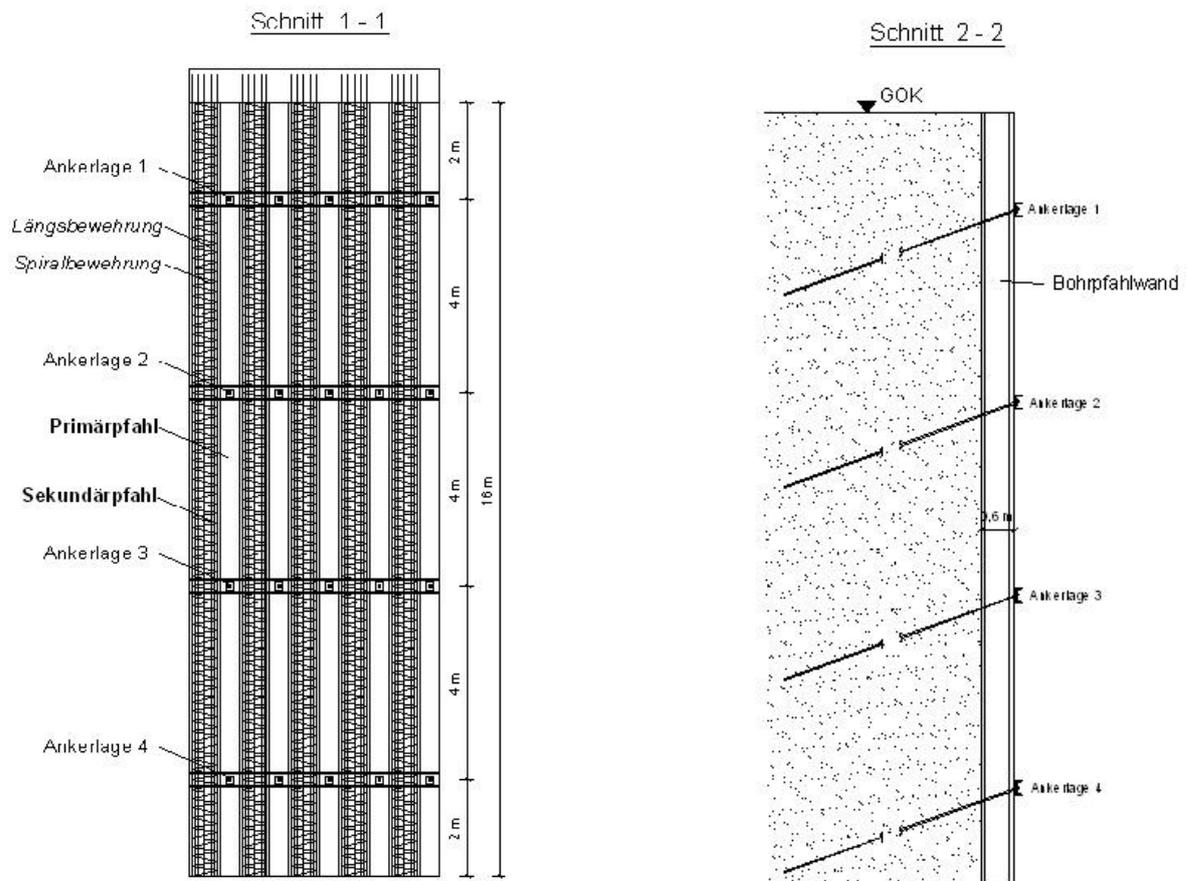


Abb. 41 Detail „A“

Kalkulationsgrundlagen:

- Abminderungsfaktoren der mantlichen Sätze für:
 - Abschreibung und Verzinsung0,45
 - Reparaturentgelt.....0,50
- Arbeitsstunden / Monat.....172
- Arbeitstage (AT) / Monat.....21
- Mittellohncosten.....40,- €/h
- Beton.....70,- €/m³
- Strom.....0,25 €/kWh
- Diesel.....1,15 €/l

- Bewehrungskorb.....1000 €



KALKULATION

Es wird angenommen, dass die Bohrschablonen schon errichtet sind !!!

ABTEUFEN DER SEKUNDÄRBOHRUNG UND ZIEHEN DER BOHRSCHECKE

Für das Abteufen der Sekundärbohrung sind folgende Geräte erforderlich:

- Raupenseilbagger, diesel – mechanisch

D.0.01 Raupenseilbagger, diesel-mechanisch 3120
 SEILB D MECH R

Standardausrüstung:
 Grundgerät komplett, für Baggerbetrieb ausgelegt.
 Mit: Seilerstaurüstung für den Grundausleger, Gegengewicht (Grundballast),
 Traktoren-Laufwerk, Dreisteg-Bodenplatten.
 Ohne: Spurverbreiterung, Ausleger, Grabgefäße, Hakenflasche.
Kenngröße(n): Max. Nennlastmoment (tm).

Nr.	max. Nennlastmoment	Windenzugkraft	Motorleistung	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	tm	kN	kW	kg	Euro	Euro	von Euro bis	
D.0.01.0050	50	50	75	24000	203500,00	3260,00	4270,00	4680,00
D.0.01.0075	75	70	90	31000	285500,00	4000,00	5400,00	5700,00
D.0.01.0100	100	90	110	39000	349500,00	4890,00	6650,00	7000,00
D.0.01.0150	150	125	140	52000	460000,00	6450,00	8750,00	9200,00
D.0.01.0200	200	160	175	60000	538000,00	7500,00	10200,00	10700,00
D.0.01.0250	250	180	190	67000	583000,00	8150,00	11100,00	11700,00
D.0.01.0300	300	200	210	75000	641000,00	8950,00	12200,00	12800,00
D.0.01.0350	350	220	225	91000	713500,00	10000,00	13600,00	14300,00

Gewählt: Raupenseilbagger, diesel – mechanisch D.0.01.0300, Seite D4, BGL 2007

▪ Bohr- und Rammgerät

K.2.00 Bohr- und Rammgerät 4130
 BOHR RAMMGERAET

Standardausrüstung:
 Kompaktbohrgerät:
 Trägergerät in der Regel Hydraulikbagger in Sonderbauart oder Spezialkonstruktion.
 Bohrmast selbst aufrichtend, nach vorn ablegbar, für Transport teilbar, starre Ausführung (nicht verdrehbar), hydraulische Neigungsverstellung manuell steuerbar.
 Bei entsprechender Ausstattung auch mit leichter Rammausrüstung (z.B. Vibrationsbär) einsetzbar.
 Mit Kellywinde und Hilfswinde am Bohrmast.
 Ohne: Kraftdrehkopf, Teleskop-Kellystange, Bohrwerkzeug, Rammausrüstung

Kompaktramme:
 Trägergerät in der Regel Seilbagger mit Bär- und Pfahlwinde und Sonderausrüstung.
 Mätker selbst aufrichtend, nach vorn ablegbar, für Transport teilbar, starre Ausführung (nicht verdrehbar), unter Flur absenkbar, zum Teil teleskopierbar, hydraulische Neigungsverstellung manuell steuerbar.
 Einige Universalausführungen auch mit leichter Drehbohr-Ausrüstung einsetzbar.
 Ohne: Ramm- bzw. Vibrationsbär, Hilfswinde, Drehbohrausrüstung.

Verschleißteil(e): Kellyseil, Vorschubseil, Wirbel, Kraftdrehkopfschlittenführungen, Spülköpfe einsch. Dichtsätze und Düsen, Gestängeanschlußzapfen oder Muffen, Führungseinsätze von der Anbohrführung, Backeneinsätze für Gestänge, Verschleißleisten und Mitnehmer, Führung (Verriegelung) im Drehloch, Reparatur/Auftrags-schweißungen Kellystangen.

Kenngröße(n): Geräteschlüssel 1 und max. Drehmoment (kNm) bei Drehbohrgerät, Geräteschlüssel 2 und Produkt max. Nutzlast x min. Ausladung bei Rammgerät.

Nr.	Geräteschlüssel	max. Drehmoment bzw. Produkt max. Nutzlast x min. Ausladung	Masthöhe bzw. Mätkerlänge	Motorleistung	Bohrschlittenvor-schub	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	Nr.	kNm bzw. tm	m	kW		kg	Euro	Euro	von Euro bis	
K.2.00.1020	1	20	13,5	100		35000	383500,00	9950,00	10700,00	12300,00
K.2.00.1040	1	40	15,0	100		40000	427000,00	11100,00	12000,00	13700,00
K.2.00.1060	1	60	16,5	100		40000	473000,00	12300,00	13200,00	15100,00
K.2.00.1090	1	90	17,5	125	Zylinder	45000	537000,00	14000,00	15000,00	17200,00
K.2.00.1120	1	120	18,5	175	Zylinder	55000	654500,00	17000,00	18300,00	20900,00
K.2.00.1160	1	160	20,0	200	Zylinder	65000	751500,00	19500,00	21000,00	24000,00
K.2.00.1220	1	220	22,1	220	Zylinder	73000	838500,00	21800,00	23500,00	26800,00
K.2.00.1250	1	250	24,0	260	Zylinder	90000	948000,00	24600,00	26500,00	30300,00
K.2.00.1350	1	350	25,0	330	Zylinder	120000	1130000,00	29400,00	31600,00	36200,00
K.2.00.2120	2	120	26,0	125		65000	700000,00	9800,00	14700,00	16100,00
K.2.00.2150	2	150	30,0	150		82000	895000,00	12500,00	18800,00	20600,00
K.2.00.2175	2	175	35,0	180		104000	980000,00	13700,00	20600,00	22500,00
K.2.00.2220	2	220	45,0	210		128000	1130000,00	15800,00	23700,00	26000,00

Gewählt: Bohr- und Rammgerät K.2.00.1160, Seite K12, BGL 2007

▪ Doppelkraftdrehkopf

K.2.02	Doppel-Kraftdrehkopf KRAFTDREHKOPF DOPPEL						4134
Standardausrüstung: Zum Anbau an Bohrerflö K.2.00. Beide Kraftdrehköpfe hydraulisch zueinander verschiebbar. Mit: Führungsschlitzen und Hydraulikschläuchen.							
Verschleißteil(e): Kraftdrehkopfschlitzenführungen, Spükköpfe einschl. Dichtsätze und Düsen, Gestängeanschlußzapfen oder Muffen, Führungseinsätze von der Anbohrführung, Bockeneinsätze für Gestänge, Führung (Verriegelung) im Drehtisch.							
Kenngroße(n): Max. Drehmoment (kNm).							
Nr.	max. Drehmoment	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag		
	kNm	kg	Euro	Euro	von Euro bis		
K.2.02.0025	25	2100	61400,00	1600,00	1720,00	1960,00	
K.2.02.0120	120	3800	117500,00	3060,00	3290,00	3760,00	
K.2.02.0150	150	4700	158500,00	4120,00	4440,00	5050,00	

Gewählt: Doppel- Kraftdrehkopf K.2.02.0150, Seite K15, BGL 2007

▪ Druckrohr

K.2.03	Druckrohr DRUCKROHR						4204-01
Standardausrüstung: Verbindungselement zwischen Kraftdrehkopf und Bohrohr.							
Verschleißteil(e): Gewinderinge, Konusringe, Schrauben, Nocken							
Kenngroße(n): Durchmesser (mm).							
Nr.	Außendurchmesser	Länge	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	mm	mm	kg	Euro	Euro	von Euro bis	
K.2.03.0530	530	1700	560	3240,00	123,00	123,00	146,00
K.2.03.0600	600	1700	625	3480,00	132,00	132,00	157,00
K.2.03.0620	620	1700	630	3790,00	144,00	144,00	171,00
K.2.03.0640	640	1700	640	3790,00	144,00	144,00	171,00
K.2.03.0750	750	1700	750	3910,00	149,00	149,00	176,00
K.2.03.0800	800	1700	810	4120,00	157,00	157,00	185,00
K.2.03.0880	880	1700	870	4160,00	158,00	158,00	187,00
K.2.03.1000	1000	1700	980	4810,00	183,00	183,00	216,00
K.2.03.1180	1180	1700	1120	5350,00	203,00	203,00	241,00
K.2.03.1200	1200	1700	1190	5600,00	213,00	213,00	252,00
K.2.03.1300	1300	1700	1370	5750,00	219,00	219,00	259,00
K.2.03.1500	1500	1700	1510	7700,00	293,00	293,00	347,00
K.2.03.1600	1800	1700	1740	9100,00	346,00	346,00	410,00
K.2.03.2000	2000	1700	1935	10200,00	388,00	388,00	459,00

Gewählt: Druckrohr K.2.03.0600, Seite K16, BGL 2007

■ Förder- Bohrschnecke

K.7.01	Förder-Bohrschnecke BOHRSCHECKE FOERDER	4354				
Standardausrüstung: Nutzlänge ca. 1,00 m. Mit Drehdurchführung für Betonpumpe, Schnellkupplungen zur Verbindung von Einzellängen, durchgehend mit dickwandigem Seelenrohr, Schneckenanfänger verstärkt, Betonaustrittsöffnung an der Spitze. Hauptanwendung im SOB- und Köcherbohrverfahren. Verschleißteil(e): Pilotspitzen, Schneidzähne, Rundschaftmeißel, Zahnhalter, Auftragschweißung Kenngröße(n): Schneidendurchmesser (mm).						
Nr.	Schneiden- durchmesser	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparatur- kosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	mm	kg/m	Euro	Euro	von Euro bis	
K.7.01.0300	300	80	690,00	28,50	30,50	38,00
K.7.01.0400	400	130	795,00	32,50	35,00	43,50
K.7.01.0500	500	160	1050,00	43,00	46,00	58,00
K.7.01.0600	600	200	1180,00	48,50	52,00	65,00
K.7.01.0700	700	280	1410,00	58,00	62,00	77,50
K.7.01.0800	800	320	1570,00	64,50	69,00	86,50
K.7.01.0900	900	450	1990,00	81,50	87,50	109,00

Gewählt: Förderbohrschnecke K.7.01.0600, Seite K34, BGL 2007

■ Bohrkopf

K.7.01.****-AD	Bohrkopf zweischneidig mit Wechselzähnen, Verwendung für Abschlussdeckel ZWEISCHNEIDIG W ZAHN
	Werterhöhung mittl. Neuwert 25%
	Werterhöhung Gewicht 10%

Die Kosten für AV und Rep. sind zu vernachlässigen !

■ Bohrrohr

Nr.	Außendurch- messer	Nutzlänge	Wandstärke innen/außen	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparatur- kosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	mm	m	mm	kg	Euro	Euro	von Euro bis	
K.6.00.0531	530	1,0	8/12	350	3580,00	136,00	136,00	161,00
K.6.00.0532	530	2,0	8/12	550	4170,00	158,00	158,00	188,00
K.6.00.0534	530	4,0	8/12	1200	4960,00	188,00	188,00	223,00
K.6.00.0536	530	6,0	8/12	1900	5500,00	209,00	209,00	248,00
K.6.00.0601	600	1,0	10/15	430	3780,00	144,00	144,00	170,00
K.6.00.0602	600	2,0	10/15	800	4350,00	165,00	165,00	196,00
K.6.00.0604	600	4,0	10/15	1500	4860,00	185,00	185,00	219,00
K.6.00.0606	600	6,0	10/15	2300	6000,00	228,00	228,00	270,00
K.6.00.0641	640	1,0	10/15	470	4140,00	157,00	157,00	186,00
K.6.00.0642	640	2,0	10/15	860	4650,00	177,00	177,00	209,00
K.6.00.0644	640	4,0	10/15	1660	5250,00	200,00	200,00	236,00
K.6.00.0646	640	6,0	10/15	2450	6200,00	236,00	236,00	279,00
K.6.00.0701	700	1,0	10/15	510	4370,00	166,00	166,00	197,00

Gewählt: Bohrrohr K.6.00.0606, Seite K27, BGL 2007

LEISTUNGSERMITTLUNG – ABTEUFEN DER SEKUNDÄRBOHRUNG

Masse – Aushub

$$16,0 \text{ m (Tiefe)} \times \pi \times r^2 \text{ (r – Pfahlradius = 0,3 m)} = 4,52 \text{ m}^3_{\text{fest}}$$

Dauer der Abteufung

Die Leistung der Bohrschnecke wird mit 8 lfm/h angenommen !

16 m / 8 lfm/h = 2 h pro Pfahl

KOSTENERMITTLUNG – ABTEUFEN DER SEKUNDÄRBOHRUNGGerätekosten

- Raupenseilbagger, diesel – mechanisch D.0.01.0300

AV/h = 12.500 €/Mo x 0,45 / 172 h/Mo = 32,70 €/h

Rep/h = 8.950 €/Mo x 0,50 / 172 h/Mo = 26,02 €/h

- Bohr- und Rammgerät K.2.00.1160

AV/h = 23.000 €/Mo x 0,45 / 172 h/Mo = 60,17 €/h

Rep/h = 19.500 €/Mo x 0,50 / 172 h/Mo = 56,69 €/h

- Doppel- Kraftdrehkopf K.2.02.0150

AV/h = 5.000 €/Mo x 0,45 / 172 h/Mo = 13,08 €/h

Rep/h = 4.120 €/Mo x 0,50 / 172 h/Mo = 11,98 €/h

- Druckrohr K.2.03.0600

AV/h = 157 €/Mo x 0,45 / 172 h/Mo = 0,41 €/h

Rep/h = 132 €/Mo x 0,50 / 172 h/Mo = 0,38 €/h

- Förderbohrschnecke K.7.01.0600

AV/h = 60 €/Mo x 0,45 / 172 h/Mo = 0,16 €/h

Rep/h = 48,50 €/Mo x 0,50 / 172 h/Mo = 0,14 €/h

- Bohrrrohr K.6.00.0606

AV/h = 250 €/Mo x 0,45 / 172 h/Mo = 0,65 €/h

Rep/h = 228 €/Mo x 0,50 / 172 h/Mo = 0,66 €/h

Gesamtkosten

AV = (32,70 €/h + 60,17 €/h + 13,08 €/h + 0,41 €/h + 0,16 €/h + 0,65 €/h) x 2 h = 214,34 €

Rep = (26,02 €/h + 56,69 €/h + 11,98 €/h + 0,38 €/h + 0,14 €/h + 0,66 €/h) x 2 h = 191,74 €

Betriebsstoffkosten

- Raupenseilbagger, diesel – mechanisch D.0.01.0300 - Motorleistung 210 kW

Diesel = (210 kW x 0,20 l/kWh x 1,15 €/l) x 2 h = 96,6 €

Schmierstoffe = 0,1 x 96,6 € = 9,66 €

- Bohr- und Rammgerät K.2.00.1160 – Motorleistung 200 kW

Diesel = (200 kW x 0,20 l/kWh x 1,15 €/l) x 2 h = 92,0 €

Schmierstoffe = 0,1 x 92,0 € = 9,20 €

Gesamtkosten

96,6 € + 9,66 € + 92,0 € + 9,2 € = 207,46 €

Personalkosten

Die Arbeitsmannschaft setzt sich wie folgt zusammen:

- 1 Geräteführer
- 2 Helfer

(1 Geräteführer + 2 Helfer) x 40 €/h x 2 h = 240 €

EINBAU UND AUSRICHTEN DER BEWEHRUNG, EINLASSEN DER SCHÜTTROHRE

Für diese Teilprozesse sind folgende Geräte erforderlich:

- Raupenseilbagger, diesel – mechanisch

D.0.01 Raupenseilbagger, diesel-mechanisch 3120
 SEILB D MECH R
Standardausrüstung:
 Grundgerät komplett, für Baggerbetrieb ausgelegt.
 Mit: Seilerstaurausrüstung für den Grundausleger, Gegengewicht (Grundballast),
 Traktoren-Laufwerk, Dreisteg-Bodenplatten.
 Ohne: Spurverbreiterung, Ausleger, Grabgefäße, Hakenflasche.
Kenngröße(n): Max. Nennlastmoment (tm).

Nr.	max. Nennlastmoment	Windenzugkraft	Motorleistung	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	tm	kN	kW	kg	Euro	Euro	von Euro bis	
D.0.01.0050	50	50	75	24000	203500,00	3260,00	4270,00	4680,00
D.0.01.0075	75	70	90	31000	285500,00	4000,00	5400,00	5700,00
D.0.01.0100	100	90	110	39000	349500,00	4890,00	6650,00	7000,00
D.0.01.0150	150	125	140	52000	460000,00	6450,00	8750,00	9200,00
D.0.01.0200	200	160	175	60000	536000,00	7500,00	10200,00	10700,00
D.0.01.0250	250	180	190	67000	583000,00	8150,00	11100,00	11700,00
D.0.01.0300	300	200	210	75000	641000,00	8950,00	12200,00	12800,00
D.0.01.0350	350	220	225	91000	713500,00	10000,00	13600,00	14300,00

Gewählt: Raupenseilbagger, diesel – mechanisch D.0.01.0300, Seite D4, BGL 2007

Die Dauer dieser Teilprozesse liegt in der Größenordnung von 1,0 h/Korb !

KOSTENERMITTLUNG

Gerätekosten

- Raupenseilbagger, diesel – mechanisch D.0.01.0300

AV/h = 12.500 €/Mo x 0,45 / 172 h/Mo = 32,70 €/h

Rep/h = 8.950 €/Mo x 0,50 / 172 h/Mo = 26,02 €/h

Betriebsstoffkosten

- Raupenseilbagger, diesel – mechanisch D.0.01.0300 - Motorleistung 210 kW

Diesel = (210 kW x 0,20 l/kWh x 1,15 €/l) x 1 h = 48,3 €

Schmierstoffe = 0,1 x 48,3 € = 4,83 €

Gesamtkosten

48,3 € + 4,83 € = 53,13 €

Der Bewehrungskorbpreis wird mit 1000 € angenommen.

Personalkosten

Die Arbeitsmannschaft setzt sich wie folgt zusammen:

- 1 Geräteführer
- 2 Helfer

(1 Geräteführer + 2 Helfer) x 40 €/h x 1 h = 120 €

BETONIEREN UNTER LANGSAMEN ZIEHEN DER SCHÜTT- UND BOHRROHRE

Die Ausstattung für diesen Teilprozess ist wie für das Einlassen der Schüttrohre + Unterwasserbetoniereinrichtung.

Die Dauer dieser Teilprozesse liegt in der Größenordnung von 2,0 h/Pfahl !

KOSTENERMITTLUNG

Gerätekosten

Die Gerätekosten für AV und Rep sind mit 150 € abgeschätzt.

Betriebsstoffkosten

- Raupenseilbagger, diesel – mechanisch D.0.01.0300 - Motorleistung 210 kW

Diesel = (210 kW x 0,20 l/kWh x 1,15 €/l) x 2 h = 96,6 €

Schmierstoffe = 0,1 x 96,6 € = 9,66 €

Gesamtkosten

96,6 € + 9,66 € = 106,26 €

Betonkosten:

4,52 m³ (Pfahlvolumen) x 70 €/m³ = 350 €

Personalkosten

Die Arbeitsmannschaft setzt sich wie folgt zusammen:

- 1 Geräteführer
- 2 Helfer

(1 Geräteführer + 2 Helfer) x 40 €/h x 2 h = 240 €

Wenn beim Ziehen des Bohrrohres auch der Bewehrungskorb mitgezogen wird, dann müssen diese Teilprozesse wiederholt werden.

Das Ausgreifen des Betones entspricht der Abteufung der Sekundärbohrung. Dieser Teilprozess wird diesmal wegen der niedrigeren Dichte des Betons im Vergleich mit dem nicht aufgelockertem Boden mit einer Dauer von 1 h/Pfahl angenommen. (d.h 2 mal niedriger Aufwand für Geräte, Betriebsstoffe und Personal).

Der ausgegrifene Beton wird seine Eigenschaften verlieren und muss durch Frischbeton ersetzt werden. Der Bewehrungskorb ist auch nicht mehr verwendbar.

Aus der Kalkulation ergeben sich die Kosten und die Dauer der Teilprozesse wie folgt:

		KOSTEN				DAUER
		Personal	Geräte	Betriebsstoffe	Summe	
TEILPROZESS	Abteufen der Sekundärbohrung	240 €	410 €	210 €	860 €	2 h
	Einbau der Bewehrung	120 €	59 €	1 054 €	1 233 €	1 h
	Betonieren	240 €	150 €	457 €	847 €	2 h
	Ausgreifen des Betones	120 €	205 €	105 €	430 €	1 h
	Einbau der neuen Bewehrungskorb	120 €	59 €	1 054 €	1 233 €	1 h
	Betonieren	240 €	150 €	457 €	847 €	2 h

Die Daten aus der Tabelle bringen in Erfahrung, welche Nachfolgen ein inkorrekt gearbeiteter Bewehrungskorb hervorrufen kann. Die Kosten und die Dauer der Pfahlerrichtung werden fast verdoppelt, was unbedingt vermieden werden muss. Ein solches Hindernis kann nur durch ständige Kontrolle über die auf der Baustelle gelieferten Bewehrungskörbe bewältigt werden. Die Erfahrung der Geräteführer ist auch von großer Bedeutung.

3.5.4.3 Beispiel : Schadensfälle am Gerätepark

Schadensfall : Geräte – oder Werkzeugausfall auf der Baustelle

Ursache : Mangelnde Seilkontrolle. Wartungs- und Pflegeintervalle nicht eingehalten.

Schon begonnene Schäden an Werkzeugen erkannt, aber nicht zur Reparatur gemeldet.

Unterlassene tägliche Kontrolle von Verschleißteilen.

Folgen : Geräteschaden größeren Umfang ist nicht mehr einzuholen. Ein nicht errichteter Pfahl am Tag Z wird auch in den folgenden Tagen nicht hergestellt

3.5.4.4 Beispiel : Bauausführung – Gleichgewichtsbedingungen nicht beachtet

Schadensfall :

- Während des Betonierens nimmt der aufsteigende Beton den Bewehrungskorb mit, meistens wenn der Ringspalt zwischen Schütt – und Bohrrohr klein ist
- Stauchen des Korbes wegen Einfließen von Beton in den feiwerdenden Spalt beim Ziehen doppelwandiger Rohre mit Freischnitt
- Wasser dringt aus dem Boden ein und steigt in der Grenzfläche zwischen Rohr und Beton auf. Das Schmiermittel Zementleim wird ausgespült, die Reibung wird größer und der Bewehrungskorb mitgezogen

Ursache : Zu große Kräfte, die von dem eingebrachten Beton auf den Korb hervorgerufen werden

Folgen :

- Schüttrohr mit kleinerem Durchmesser, notfalls eine Arretierung am oberen Ende vorsehen
- Stabilerer Korb, öfter zwischenziehen
- Überprüfung und Einhaltung der Gleichgewichtsbedingungen in den einzelnen Betonierabschnitten
- Verbesserung der konstruktive Ausbildung der Bewehrung

4 Spundwand

4.1 Allgemeines

„Spundwände sind Flächentragwerke, die durch Aneinanderreihen von einzelnen vertikal angeordneten Bohlen entstehen. Durch die Form der Bohlen bedingt, entsteht im Grundriss eine wellenförmige Wand“¹⁸

Stahlspundwandverfahren ist bei vielen Bauaufgaben die einzig mögliche Lösungsvariante. Diese Methode ist seit Jahren bei vielen Bauprojekte als sicher und wirtschaftlich bekannt. Obwohl Stahlspundwände zum ersten Mal zum Zwecke des Wasserbaues verwendet wurden, können sie heute in fast allen Gebieten des Bauwesens einen Einsatz finden. Sie dienen als :

- Uferwände in Häfen und an Wasserstraßen
- Widerlager bei Brücken
- Rampen und Stützwände im Verkehrs – und Grabenverbau
- Dichtungswände für Dämme und auch Deponien und Altlasten

Als Fertigteilelemente finden sie ein Einsatzgebiet bei :

- Umschließung von Baugruben im offenen oder im Grundwasser
- Fundament – und Kellerwand für Tiefgarage
- Tunnelbauten

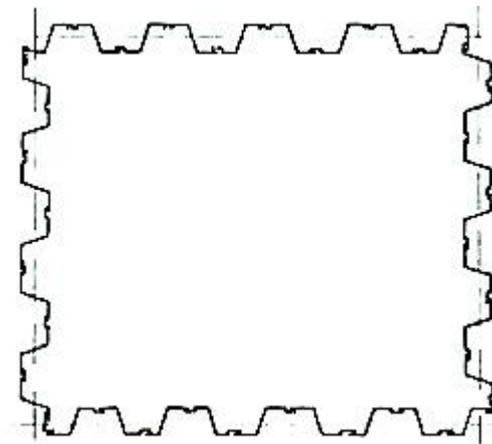


Abb. 42 Grundriss einer Spundwandbaugrube[13]

„Stahlspundwände sind eigenständige Bauwerke, bilden Teile eines bleibenden Bauwerkes oder erfüllen als Bauhilfsmaßnahme zeitlich begrenzte Aufgaben. Darüber hinaus sind sie geeignet, mehrere Funktionen in sich zu vereinen.“

Die wichtigsten Vorteile des Verfahrens sind :

- Kurze Bauzeit, Wasserundurchlässigkeit, Wirtschaftlichkeit, Erosionsbeständigkeit

¹⁸ Eicher 1999,S.26.

- Mehrfache Verwendung des Materials
- Geringer Personalaufwand
- Geringer Platzbedarf
- Umweltfreundlichkeit
- Aufnahmefähigkeit von große Vertikalkräfte

Zu den Nachteilen des Verfahrens gehören :

- Beigeweiches Verbausystem
- Schwierige Anpassung an veränderliche Bodenverhältnisse
- Einsatzbeschränkung durch hindernisreiche Böden
- Setzungsgefahr im Bereich von Bebauungen

Die Innovationskraft der Bauingenieure ist der entscheidende Grund zu der Entwicklung und der weiteren Verbreitung des Spundwandverfahrens. Mit der Zeit hat es sich als eine wirtschaftliche und aktuelle Methode erwiesen.

4.2 Verfahrenstechnik

Die Spundwände sind seit über 100 Jahren als Baugrubenverbaumittel bekannt. Am Anfang wurden Holzbohlen eingerammt, die eine Sicherheitsfunktion gegen Geländesprünge oder anstehenden Grundwasser erfüllten. Heutzutage kommen ausschließlich Stahlprofile zum Einsatz.

4.2.1 Spundwandprofile

Je nach Rammtiefe, erforderlichem Widerstandsmoment und Anwendungsbereich unterscheidet man leichte und schwere Profile mit verschiedener Stahlqualität. Die leichten Profile werden in dem Kanalbau oder Spunden von Schächten, bei maximalen Längen von ca. 12 m, verwendet. Schwere Profile werden bis 30 m Länge hergestellt. Im Fall von einem Spundwandverbau gegen das außerhalb der Baugrube hoch stehende Grundwasser, wird üblicherweise eine wasserdichte Ausführung erforderlich. Diese Anforderung ist besonders bei verbleibene Spundwände zu beachten, die Teil des späteren Bauwerks werden.

Die Wahl der Spundwandprofile ist von der Beanspruchung aus Erd- und Wasserdruck im Endzustand, rammtechnischen Gesichtspunkten und Verfügbarkeit von Bohlen abhängig. Während des Einbringens werden die Bohlen vor allem in Längsrichtung auf Druck, Beulen, Knicken und Torsion beansprucht. Für die schon errichtete Lage müssen sie auf Biegung bemessen werden.

Die wichtigsten Unterschiede zwischen den einzelnen Bohlenprofilen bestehen in den Querschnittsformen und in der Form und Lage des Schlosses. Die Schlösser müssen eine gute Führung beim Einbringen der Bohlen, einen zugfesten Verbund und möglichst größere Wasserdichtigkeit gewährleisten. Meistens besitzen die horizontalen Fußabweichungen einen Wert von 1 bis 1,5 % der Wandhöhe.

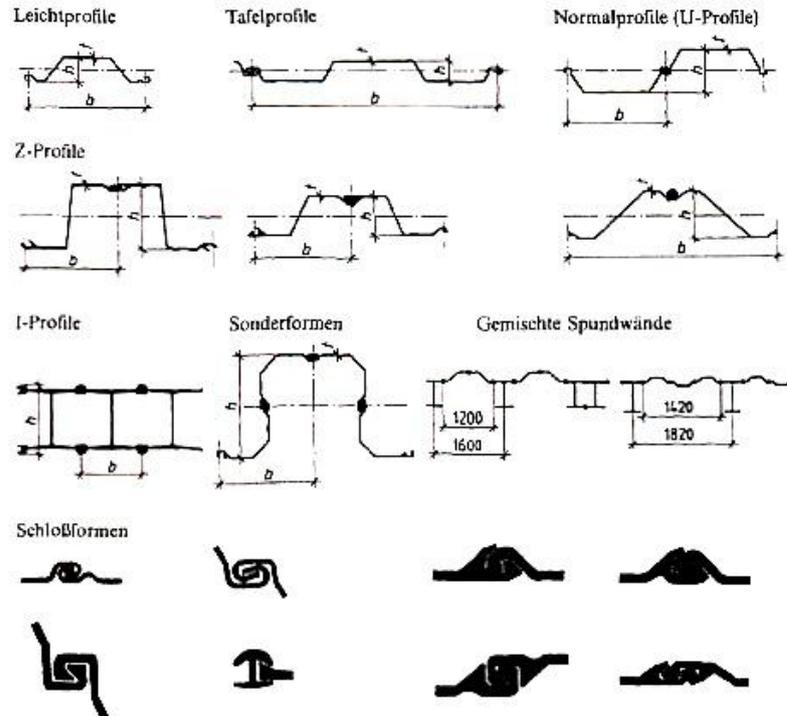


Abb. 43 Spundwandprofile [13]

4.2.2 Geräte und Verfahren

In der Regel werden die Spundwandprofile als Einzelbohle (selten), Doppelbohle (meistens) oder Dreifachbohle in den Baugrund gerammt, gerüttelt oder gepresst.

Die Baugrubenbeschaffenheit, die Nachbarbebauung und die Anforderungen des Umweltschutzes bestimmen die Auswahl des geeigneten Einbringverfahrens.

In der Praxis hat man festgestellt, dass bei Anwesenheit von nichtbindigen Böden das Rammen mit schneller Schlagfolge oder das Einvibrieren die schnellste und wirtschaftlichste Methode ist. In diesem Fall schweben die Bodenkörner und die zu überwindene Mantelreibung wird stark vermindert.

In bindigen Böden sind langsam schlagende Rammbären mit hoher Schlagenergie oder Einpreßverfahren zu empfehlen. Beim Rammschlag entstehen wegen des Verdrängungsvorganges hohe Porenwasserdrücke, die den Eindringungswiderstand vergrößern. Bei langsamer Schlagfolge genügt die Zeit zwischen den einzelnen Schlägen diesen Porenwasserdruck abzubauen.

4.2.2.1 Schlagendes Rammen

Das schlagende Rammen ist die älteste Methode, Bohlen in den Baugrund einzutreiben. Dieses Verfahren erfolgt mittels eines Schlag – oder Fallgewichtes, das auf den Kopf der Bohle wirkt. Das Schlaggewicht wird entweder über einen Seilzug oder durch

Dampf, Druckluft, Hydraulik oder explosionsartiger Verbrennung eines eingespritzten Treibstoffes angehoben.

Im Gegensatz zu den Dieselbären, die frei von Energie-Zuführungsleitungen sind, existiert bei den Dampf- oder Druckluftbären eine getrennte Energieerzeugung. Die Schlagbewegung wird mittels Bewegung eines Kolbens im Zylinder oder mittels Bewegung eines Zylinders über einem festen Kolben durchgeführt. Man unterscheidet Zylinder – und Kolbenbäre. Bei dem Zylinderbär leistet der Zylinder die Schlagarbeit, wobei der Kolben auf dem Rammgut sitzt. Zylinderbäre können Dieselbäre, dampf – und druckluftgetrieben werden.

Kolbenbäre werden in langsam schlagenden Dieselbären (Schlagzahl 40 bis 60 Schläge pro Minute) und Schnellschlagbären mit Schlagzahlen von 100 bis 300 Schläge pro Minute, eingeteilt. Bei den Schnellschlagbären wird der Schlagkolben durch Dampf und Druckluft gehoben und nach unten beschleunigt. Wenn Öldruck verwendet wird, spricht man von Hydraulikbären oder Hydraulikhämmern.

Das Schlaggewicht ist von dem Gewicht des Rammgutes (Einfach-, Doppel- oder Dreifachbohle) abhängig. Bei langsam schlagenden Bären erwies sich das Verhältnis von Bärgewicht zum Gewicht des Rammelementes (einschließlich Rammhaube) von 1:1 bis 2:1 als besonders günstig. Bei Schnellschlagbären liegt das Verhältnis im Bereich von 1:4 bis 1:5.

4.2.2.2 Rütteln (Vibrieren)

Bei dem Rütteln wird die Reibung zwischen den Spundbohlen und dem umgebenden Boden mit ca. 10-25% verringert. Auf das Rammgut wirkt eine dynamische und statische Belastung, die von dem Gewicht des Vibrationsbären und der Bohle hervorgerufen werden. Die wichtigsten Vorteile des Verfahrens sind mit der geringen Lärmentwicklung und mit der schonenden Behandlung des Rammgutes verbunden.

Die Rüttelschwingungen entstehen mittels drehenden Umwuchten. Wegen der Aufhebung der horizontalen Komponenten der Fliehkräfte werden nur die vertikalen wirksam.

Man unterscheidet Vibrationsbären mit elektrischen oder hydraulischen Antrieb. Bei den hydraulisch betriebenen Vibrationsbären ist eine stufenlose Regelung der Schwingungsfrequenz und damit eine Anpassung an die verschiedenen Bodenarten möglich. Die Vibrationsbäre werden über Spannungsvorrichtungen mit dem Rammgut verbunden, wobei diese Verbindung schwingungsfest errichtet werden muss.

Einer der größten Vorteile des Verfahrens ist die kürzere Rammzeit im Vergleich mit den anderen Verfahren. Die Einsetzbarkeit in verschiedenen Bodenarten und die Wirtschaftlichkeit sind ebenfalls von großer Bedeutung.

4.2.2.3 Impulsrammen

Eine der neuesten Methoden auf dem Gebiet der Rammtechnik ist die Impulsrammung. Zu der Rammeinrichtung gehört ein Zylinder mit Balast und ein Kolben, der fest mit dem Rammgut verbunden ist. Die hydraulisch erzeugte Massenbeschleunigung des Kolbens verursacht die Impulskraft. Die beschleunigte Masse ist frei vom Rammgut und wird nur vom Kolben geführt. Auf diese Weise entsteht kein Lärm.

4.2.2.4 Einpressen

Das Einpressverfahren ist besonders gut geeignet, wenn das Einbringen von Spundbohlen in den Baugrund erschütterungsfrei und lärmarm durchgeführt werden muss. Mit diesem Verfahren können Spundwände ohne Störung von Anliegern, aber auch unmittelbar in der Nähe von erschütterungsempfindlichen Bauwerke eingebracht werden.

Eine Besonderheit der Methode ist, dass die Mantelreibung bereits eingepresster Spundbohlen für die hydraulische Presseneinrichtung genutzt wird.

Statisches Einpressen von Spundbohlen ist einsetzbar, bis die aufgebrauchte Pressenkräfte die Eindringwiderstände durch Mantelreibung und Spitzendruck überwinden können. Um auch im Boden mit hohen Eindringwiderständen Spundwände einpressen zu können, wurde das Bohrpressverfahren „Klammt“ eingeführt. Das Konzept dieses Verfahrens beruht darauf, dass die Spundbohlen bei gleichzeitiger Entspannung des Bodens durch Vorbohren hydraulisch eingepresst werden.

Das Bohrpressgerät ist aus vier hydraulische Presszylindern, zwei Bohrwerten mit Bohrschnecken und einem selbstfahrenden Pressgerüst als Führungsgerät sowie Trägergerät für die Arbeitsbühne zusammengesetzt.

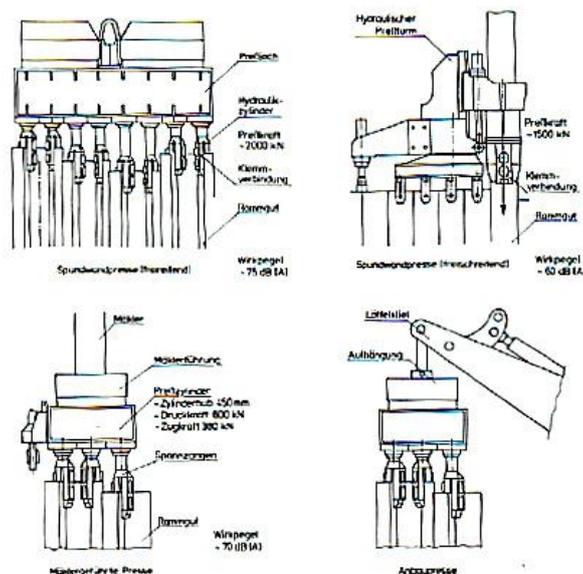


Abb. 44 Anbauvarianten für Einpreßgeräte [3]

4.2.2.5 Hilfsgeräte für die Ausführung von Rammarbeiten

Die Rammausrüstung umfasst das Trägergerät, Führungen, eine Schlaghaube und den Rammbar.

Die Führung langsam schlagender Freifallrammen erfolgt in der Regel mittels Mäkler. Mäkler sind mastartige Führungskonstruktionen aus Rohren, Profilstahl oder Gitterträgern und werden am Auslegerkopf eines Baggers kardanisches aufgehängt und gegen den Auslegerfuß abgestützt. Die Funktion der Mäkler ist den Rammbarren und Rammgut die notwendige Führung zu geben.

Bei beengten Platzverhältnissen innerhalb von engen Baustellen und bei ständigen Richtungswächseln der Wandflucht ist der Einsatz von Drehmäklern von Vorteil. Diese Drehmäkler sind links und rechts bis zu 110 Grad drehbar und gewährleisten ein einwandfreies Rammen von Eck- und Anschlußbohlen unter beliebigen Winkeln ohne Umsetzen des Trägergerätes.

Schnellschlagrammer haben die Möglichkeit freireitend, am Kranseil hängend oder mit Mäklerrführung zu arbeiten. Egal ob die Ramme freireitet oder am Kran hängt, müssen die Spundbohlen an mindestens zwei Punkten gehalten werden. Das kann durch spezielle Holz- oder Stahlrammen oder durch Zangen aus Stahlprofilen geschehen. Die Rammbarre die am Mäkler nicht geführt werden, müssen mittels einer Freireitender-Führung auf dem Rammgut zentriert werden.

Ähnlich wie bei den Schnellschlagrammen können die Vibrationsrammer freireitend, am Kranseil hängend oder am Mäkler geführt, verwendet werden. In diesem Fall aber werden häufig Teleskopmäkler zum Einsatz gebracht, die am Hydraulikbagger angebaut werden.

Beim Freifallrammen ist eine Rammhaube auf die Spundbohlen aufzusetzen. Sie hat eine Schutzfunktion und kann den Schlag der Barren gleichmäßig verteilen um Verformungen der Bohlenköpfe zu vermeiden.

Schnellschlagrammen belasten das Rammgut schonend, so dass statt Rammhauben Schlagplatten benutzt werden, die in die Rammhämmer eingebaut sind.

Bei Vibrationsrammen ist kein besonderer Schutz der Bohlenköpfe erforderlich, weil die Ramme schwingungsfest mit den Spundbohlen verbunden ist.

4.2.2.6 Lärmschutzmaßnahmen

Rammen von Spundbohlen mit langsam oder schnell schlagenden Hämmern verursacht ein Lärmpegel in dem Bereich von 58 bis 115 dB. An mehreren Orten ist dieser Lärmpegel unzulässig.

Die Ursache der Lärmentstehung ist üblicherweise das Schlaggeräusch und seine Abstrahlung über das Rammgut, aber auch die Klappergeräusche zwischen den Geräteteilen Bagger- Mäkler- Rammbar und der Motor.

Durch das Umschließen von Rammgut, Rammhaube, Rammbar und Mäkler mit einem Schalschutzkamin wird der Rammlärm um ca. 20 bis 30 dB abgemindert.

Einpressen ist das Verfahren, das am wenigsten Lärm erzeugt und erschütterungsarm ist.

4.3 Rammhilfen

Das Eindringen der Bohlen in den Baugrund wird durch verschiedene Maßnahmen begünstigt. Dazu gehören Spülhilfen, Auflockerungsbohrungen, Lockerungssprengungen, und Bodenersatz.

Als Spülhilfe können Druckluft oder Wasser verwendet werden. Bei dem Einsatz von Druckluft wird ein Luftstrom im Fußbereich der Bohle produziert, der den Boden umlagert und damit den Eindringwiderstand dämpft. Die Benutzung der Druckluft ist nur bei nichtbindigen Böden sinnvoll und in wasserhaltigen Böden besonders ergiebig.

Spülen mit Wasser vermindert den Eindringwiderstand mit der Hilfe eines am Bohlenfuß eingeleiteten Wasserstromes, der den Boden auflockert und umlagert. In der Regel ist der Spüldruck in der Größenordnung von 10 bis 20 bar. Diese Methode ist besonders gut geeignet bei der Anwesenheit von dichtgelagerten nichtbindigen Böden, z.B Feinsand. Die Wassermengen betragen von 200 - bis 500l/min.

Wasser wird auch bei dem sogenannten Hochdruckspülverfahren verwendet. Die Besonderheit dieses Verfahrens ist der Einsatz von wesentlich höheren Drücken (bis 500 bar) und geringeren Wassermengen (10-50 l/min). Es wird ein Hochdruckwasserstrahl erzeugt, der den Boden ausschneidet und den Eindringwiderstand vermindert. Hochdruckspülverfahren ist auch in festen bindigen Böden anwendbar.

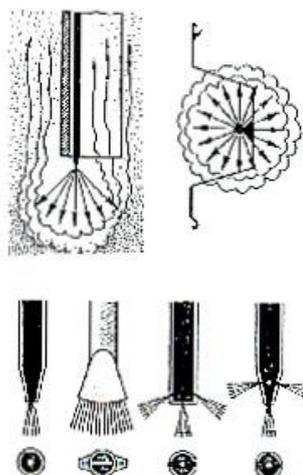


Abb. 45 System der Spülung und Lanzenformen [3]

Die Auflockerungsbohrungen, die z.B beim Einpressverfahren von „Klammt“ benutzt werden, können in bindigen und nichtbindigen Böden durchgeführt werden. Das

Herausbohren gewährleistet eine Entspannung der Böden und eine leichtere Verdrängung der Bohlen zwischen den Bohrlöchern beim Eindringen in den Baugrund.

Die Rammbarkeit kann in stark verdichteten, von Felsbänken durchzogenen oder felsartigen Böden durch Auflockerungssprengungen hervorgerufen werden. Bei diesem Verfahren werden in Spundwandachse in bestimmten Abständen Bohrlöcher gebohrt und mit Sprengstoff besetzt. Durch Sprengungen entsteht ein relativ enger Graben, in dem die Rammung von Spundbohlen zusammenkommt.

Bodenaustausch in der Spundwandflucht ist eine andere Art von Rammhilfe. Dieses Verfahren ist sehr aufwendig. Der nicht rammbare Boden wird in einem Schlitz gelöst und ausgehoben. Die Breite dieses Schlitzes ist in der Regel mindestens der Profilhöhe der Bohlen. Danach wird er mit rolligem Boden ausgefüllt und die Spundwand gerammt.

Eine andere Auswahlmöglichkeit ist das Einstellen von Spundbohlen in Schlitz, die mit erhärtender Stützflüssigkeit (Bentonit-Zement-Suspension) gefüllt sind.

4.4 Hindernisse beim Spundwandverfahren

Die meist antreffenden Schwierigkeiten beim Rammen von Spundbohlen sind folgende:

- Voreilen der Bohlen
- „Aus dem Schloss Springen“
- Nacheilen der Bohlen
- Neigen der Bohlen senkrecht zur Rammrichtung
- Deformieren der Spundbohlenköpfe
- Mitziehen der Nachbarbohlen
- Durchrammen von Felsschichten und Einmeißeln in Fels
- Korrosion

4.4.1 Voreilen der Bohlen

Aufgrund der einwirkenden Kräfte ist das Voreilen ein der häufigsten Probleme bei der Spundwandrammung.

„Bei der Rammung neigen die Spundbohlen zum sog. Voreilen, dem rechtzeitig entgegenwirkt werden muss, da sonst die Rammung ungenau und auch erheblich erschwert wird.“¹⁹

Zur Bewältigung dieser Schwierigkeit bieten sich verschiedene Methoden an.

Zu den Ursachen für das Voreilen zählen die einseitige Schloßreibung, der durch das Rammen vergrößerte Eindringwiderstand des Bodens im Bereich der bereits gerammten Bohlen und der mittige Rammschlag bei einseitiger Halterung. Als Maßnahme dagegen kann eine außermittige Einleitung der Rammenergie (bis ca. 5 cm) dienen oder ein

¹⁹ Buja 1998,S.349.

Aufbringen von einer zusätzlichen Zugkraft, wobei es sich wegen der günstigen Beanspruchung der Schlösser als besser erwiesen hat, die Zugkraft unten statt oben einzuleiten (siehe Abb. 46).

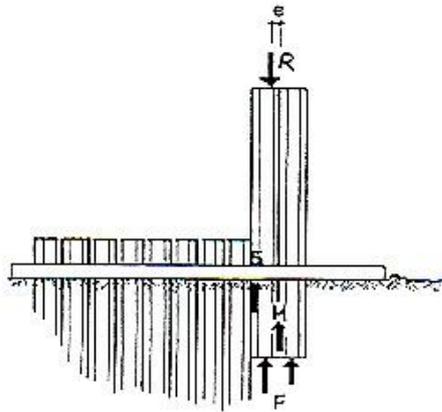


Abb. 46 Außermittige Krafteinleitung [3]

Die wohl wirksamste Methode gegen das Voreilen ist zweifelsohne die gestaffelte Rammung (siehe Abb. 47).

Bei diesem Verfahren werden die Spundbohlen nicht in einem Zug bis auf die vorgesehene Tiefe gebracht, sondern zunächst bis auf die Hälfte oder ein Drittel der Endtiefe. Nachfolgend wird eine nächste Bohlen-Einheit aufgestellt und auf die gleiche Tiefe gerammt. Wenn das Einbringen von mehrerer Bohlen-Einheiten auf die Teiltiefe zusammengekommen ist, werden die Einheiten nach und nach auf die vorgesehene Endtiefe oder auf eine neue Teiltiefe gerammt.

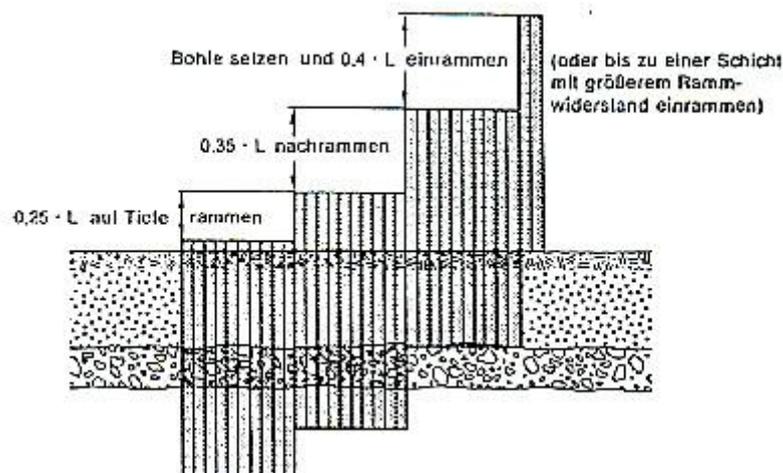


Abb. 47 Gestaffeltes Rammen [3]

Der Vorteil dieser Methode besteht darin, dass die Rammeinheit beim nachfolgenden Rammen beidseitig in Spundwandschlössern gebracht wird und damit das Kräftespiel praktisch symmetrisch verläuft.

Die Rüstzeit je Doppelbohle kostet in der Größenordnung von 3 bis 10 € pro m. Bei der gestaffelten Rammung entstehen zwei Mal größere Rüstzeiten d.h. zwei Mal größere Kosten. Der kalkulatorische Leistungswert für das Einrammen nach verschiedenen Methoden mit verschiedenen Einbaugeräten ist zwischen 5 und 12 min/m². Das Umstellen eines Gerätes verlangt 3 min je Doppelbohle, d.h. bei der Verwendung dieser Maßnahme gegen Voreilen entstehen verdoppelte Zusatzzeiten und niedrige Betriebsleistungen.

4.4.2 Aus dem Schloss Springen

Das sogenannte „aus dem Schloss Springen“ während des Rammvorganges ist erheblich problematischer als das Voreilen. Ein Grund dazu kann eine unsachgemäße Bedienung der Ramme, eine nicht genügende Führung der Bohlen, ein Hindernis im Baugrund oder ein schadhaftes Schloss sein. Das „aus dem Schloss Springen“ ist üblicherweise von der Ramme aus nicht erkennbar und die Fehlerstellen werden erst beim Aushub der Baugrube z.B. durch plötzlichen Wasseraustritt konstatiert. Die möglichen Maßnahmen dagegen sind :

- Rammen einer zweiten Bohlenreihe hinter der ersten Spundwand
- Injektion des anstehenden Baugrundes
- Schockgefrieren des Bodens mit flüssigem Stickstoff

Rammen einer zweiten Bohlenreihe hinter der ersten Spundwand bedeutet erhöhten Kosten und längere Bauzeit.

Injizieren ist immer eine sehr teure Maßnahme, die mit Hilfe spezieller Einrichtungen und hochqualifiziertem Personal durchgeführt wird. Der kalkulatorische Leistungswert für Injizieren ist 1,50 m³/h bei drei Pumpen pro Tag. Die Lieferzeit der Einrichtung kann mit 1 Tag angenommen werden. Für das Einrichten der Anlage sind 2 Tage notwendig. Das bedeutet mindestens 3 Tage Zeitverzögerung.

4.4.2 Nacheilen der Bohlen

Im Bereich einer geramnten Bohle kann harter Boden so aufgelockert werden, dass die nachfolgende Bohle in Schloßnähe weniger Widerstand beim Rammen zu überwinden hat. Der Bodenwiderstand ist am freien Ende größer. Wegen dieses Grundes verläuft der Eindringungsprozess an dieser Stelle langsamer – d.h. die Bohle eilt nach. Die Gegenmaßnahmen, die zum Einsatz kommen, sind :

- Rammbar von der Mitte der Bohlenbreite weg zum freien Bohlenende hin versetzen. Die Rammhaube kann allerdings nicht mehr am Mäkler geführt werden.
- Anschrägen des Bohlenfußes.
- Ansetzen einer zusätzlichen Widerstandsplatte am Bohlenfuß.

Das Ansetzen einer zusätzlichen Widerstandsplatte am Bohlenfuß bedingt neue Kosten für Stahl, Personal und maschinelle Ausrüstung.

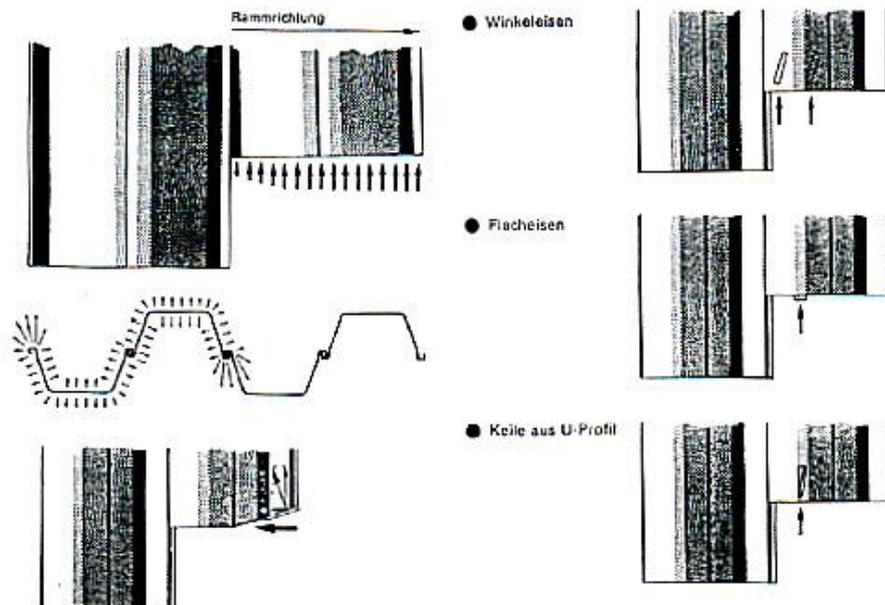


Abb. 48 Nachteile der Spundwände und Gegenmaßnahmen [3]

4.4.3 Neigung der Spundbohlen senkrecht zur Rammrichtung

Zur Neigung der Spundbohlen senkrecht zur Rammrichtung kommt es, wenn entweder schräg anstehende harte Schichten oder Hindernisse im Boden vorhanden sind. Die Gegenmaßnahmen sind:

- Die Bohle so anschrägen, dass die Spitze auf den harten Boden trifft und eindringt
- Keile anschweißen

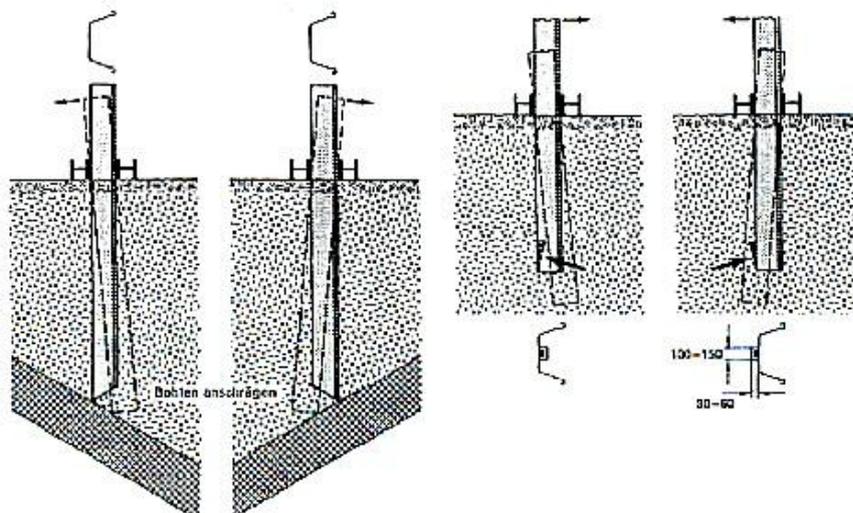


Abb. 49 Abweichung von der Senkrechten und Gegenmaßnahmen [3]

4.4.4 Deformierung der Spundbohlenköpfe

Teilweise oder ganze Zerstörung der Spundbohlenköpfe beim Einrammen ist keine seltene Erscheinung. Mögliche Ursachen und Vermeidung der Schäden sind:

Der Bohlenkopf wird gestaucht

- Ursache : Zu kleines schlagendes Gewicht
- Wirkung : Zerhämmerung des Bohlenkopfes
- Abhilfe : Verwendung von Rammhämmer mit einem schwereren Schlaggewicht,
 - in Sonderfällen – Verstärkung des Bohlenkopfes

Der Bohlenkopf wird unterhalb der Aufschlagstelle ausgebeult

- Ursachen :
 - Schwache Bohlen für den angetroffenen Bodenwiderstand
 - Nicht volles Aufsetzen der Schlaghaube
 - Hohe Bodenverdichtung, im Verlauf der Rammungen vorverdichtet
 - Kein rechtwinkliger Schnitt am Kopf der Bohle
 - Zu hohe Schlagenergie
- Abhilfe
 - Verwendung von Bohlen aus Sonderstahl oder ein schwereres Profil
 - Verwendung von passenden Rammhauben
 - Auflockerungsbohrungen, Bohlen mit größeren Öffnungswinkel wählen
 - Verringerung der Rammenergie

Die Verwendung von Bohlen aus Sonderstahl oder ein schwereres Profil ist nicht nur aufwendig, sondern auch eine leistungsbehindernde Maßnahme. Sonderstähle sind teurer und die Lieferzeiten beeinträchtigen den Betriebsfortschritt.

Mit dem Einsatz von Auflockerungsbohrungen entstehen auch Zusatzkosten und geringere Leistungen.

4.4.5 Mitziehen der Nachbarbohlen

Bei größerer Schloßreibung im Vergleich mit dem Einrammwiderstand der Nachbarbohle wird diese beim Rammen mit nach unten gezogen. Als Abhilfemaßnahmen dienen :

- Durchbrennung der Schlösser und Einsetzen von Bolzen
- Bohlen durch Träger beidseitig miteinander verschrauben
- Bohlen und Träger mit angeschweißten Laschen beidseitig miteinander verschrauben

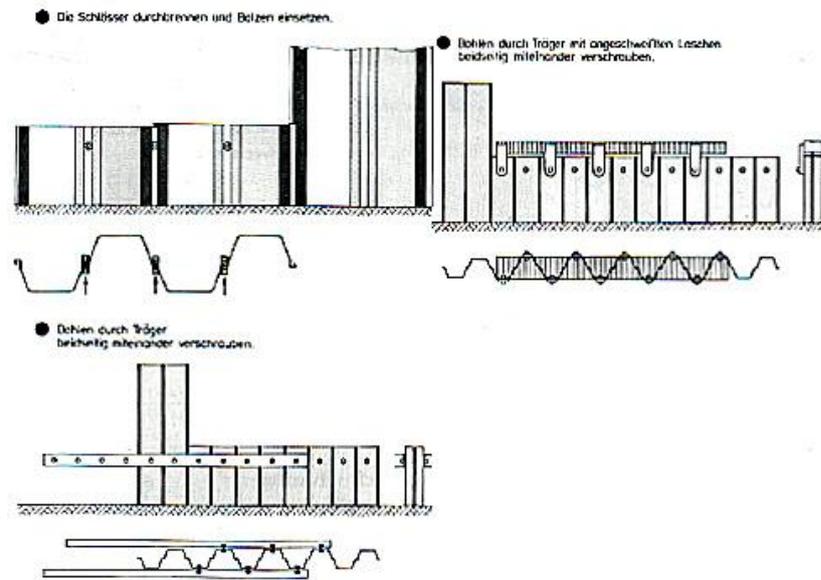


Abb. 50 Maßnahmen gegen das Mitziehen der Nachbarbohlen [3]

4.4.6 Korrosion

In der Regel ist Stahl vor Korrosion zu schützen. Die normalen Einbaubedingungen von Spundwände bieten aber einen natürlichen Korrosionsschutz und deshalb gilt diese Anforderung nur begrenzt.

Auf der Erdseite einer geramnten Spundwand ist üblicherweise wegen der stark eingeschränkten oder ganz unterbundenen Sauerstoffzufuhr kein Korrosionsschutz erforderlich. Jedoch kann in dem Übergangsbereich von der Erde zur Atmosphäre Korrosion auftreten. Dieses Hindernis ist leicht zu bewältigen, da diese Abschnitte leicht zugänglich für konstruktive Maßnahmen wie Dichten der Fuge zwischen Spundwand und Bodenbefestigung sind.

Auf der Luftseite wird die Korrosion von stahlaggressiven Bestandteilen der Luft oder der Niederschläge beeinflusst. Hierbei dient die großflächige und lotrechte Wandstruktur als auch das Fehlen scharfer Kanten, schmaler Nischen und vorspringender Konstruktionsteile als Schutzmaßnahme für die geringe Anfälligkeit gegen Korrosion.

Auf der Wasserseite ist die Korrosion von den aggressiven Beimengungen bedingt. Im Süßwasser ist kein besonderer Schutz anzubieten. Bei normalen Wasserzustand muss eine mittlere Schwächung von 0,01 bis 0,2 mm im Jahr berücksichtigt werden.

Seewasser und fauliges aggressives Wasser bedingen einen starken Korrosionseintritt. In diesen Fällen liegt die Schwächung in dem Bereich von 0,1 bis 0,2 mm pro Jahr. Die Zonen im Bereich des Mittelwassers und die Spritzwasserzonen bei starkem Wellenschlag sind besonders gefährdet.

Wegen eines hohen Eindringwiderstandes an der westlichen Seite der Baugrube, werden Auflockerungssprengungen notwendig, die sich über eine Länge von 20 m erstrecken. Zur Vorbereitung des Sprengens werden in der Spundwandachse im Abstand von 0,8 m Bohrlöcher mit einem Durchmesser von 90 mm hergestellt, in die ein unten geschlossenes Kunststoffrohr eingestellt wird. In das Kunststoffrohr werden an Sprengschnüren Sprengladungen abgelassen, die unten konzentriert und oben in größerem Abstand voneinander angebracht sind. Es werden jeweils 4 Bohrungen nacheinander gesprengt, so dass ein schmaler aufgelockerter Graben entsteht, in den die Bohlen eingerammt werden. Beim Einrammen verdichtet sich der aufgelockerte Felsboden wieder.

SCHNITT A - A

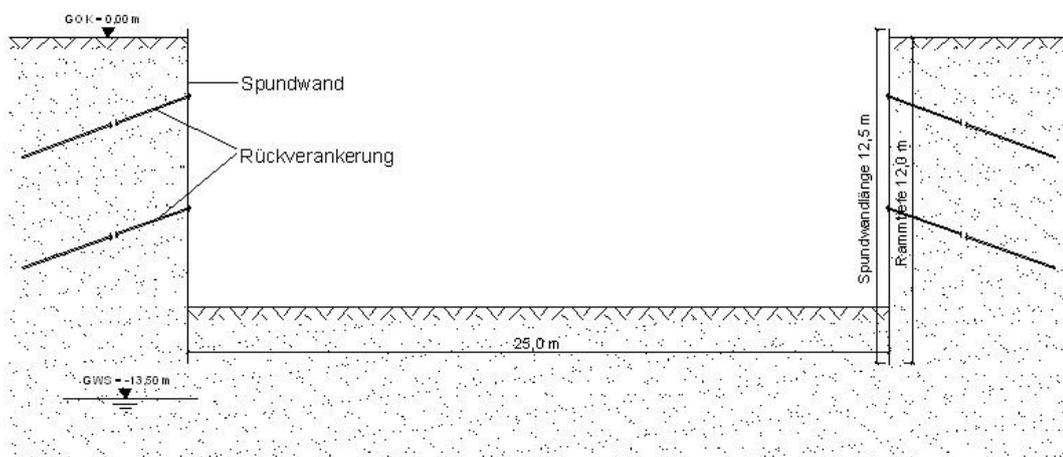


Abb. 52 Schnitt A - A

Kalkulationsgrundlagen:

- Abminderungsfaktoren der monatlichen Sätze für:
 - Abschreibung und Verzinsung0,45
 - Reparaturentgelt.....0,50
- Arbeitsstunden / Monat.....172
- Arbeitstage (AT) / Monat.....21
- Mittellohncosten.....40,-- €/h
- Sprengstoffe.....2.000 €
- Kunststoffrohre.....5,-- €/lfm
- Strom.....0,25 €/kWh
- Diesel.....1,15 €/l

KALKULATION

Zahl der Bohrungen – n:

n = (Länge des Bereichs von verdichtetem Boden / Abstand der Bohrlöcher) + 1 =
 = 20,0 m / 0,8 m + 1 = 26 Bohrungen

Gesamtbohrlänge - l

l = Zahl der Bohrungen x Bohrtiefe bzw. Rammtiefe = 26 x 12,0 m = 312 m

Kunststoffrohrlänge

Die Gesamtlänge der Kunststoffrohre entspricht der Bohrlänge = 312 m

HERSTELLUNG DER BOHRLÖCHER

Für die Ausführung der Bohrungen werden folgende Geräte verwendet :

- Bohrwagen mit Raupenfahrwerk, hydraulisch

K.0.10 Bohrwagen mit Raupenfahrwerk, hydraulisch BOHRWAGEN RAUPE HYD 4180

Standardausrüstung:

Verwendung für Gesteinsbohrungen und Überlagerungsbohrungen. Mit pendelnd aufgehängten Fahrschiffen, Hydraulik-Fahrwerk. Lafetten-Schwenkbewegungen über Hydraulikzylinder, Kottenvorschub über Hydraulikzylinder oder Vorschubgetriebe. Hydraulik-Aggregat mit Dieselmotor, ausgelegt für Betrieb mit Bohrhammer, Drehantrieb oder Doppelkopfbohranlage.

Schwenkbarer Bedienungsstand, mit Schläuchen.

Ohne: Bohrhammer, Bohrausrüstung.

Nr. 0075 - 0133 ohne Kabine.> Nr. 0145 mit Fahrerkabine.

Verschleißteil(e): Vorschubketten oder Vorschubseile einschl. aller Führungsteile, Schlittenführungen für Kraftdrehkopf oder Hammer, Spülköpfe einschl. Dichtungssätze und Düsen, Ausgleichsgestänge einschl. aller Abdichtungen, Einsätze von der Anbohrführung, Backeneinsätze für Gestänge- und Brechvorrichtungen, Einsatzbacken von Spannköpfen, Aullagepuffer der Lafette am Gebirge, Hammersseile, Gleitteile der Lafette.

Kenngröße(n): Motorleistung (kW).

Nr.	Motorleistung	Einsatzgewicht	Mittlere Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	kW				kg	Euro
K.0.10.0075	75	8300	143000,00	3000,00	4860,00	5700,00
K.0.10.0104	104	12000	186500,00	3920,00	6350,00	7450,00
K.0.10.0114	114	14100	199500,00	4190,00	6800,00	8000,00
K.0.10.0133	133	16500	214500,00	4500,00	7300,00	8600,00
K.0.10.0145	145	23800	261000,00	5500,00	8850,00	10400,00

Gewählt: Bohrwagen mit Raupenfahrwerk, hydraulisch K.0.10.0114, Seite K3, BGL 2007

- Bohrhammer, hydraulisch

K.0.15 Bohrhammer, hydraulisch 4165
 HAMMER BOHR HYD

Standardausrüstung:

Drehschlagend, mit fest eingebautem oder angebautem umsteuerbaren Rotationsmotor. Bei 2-Motorenausführung wahlweise zuschaltbar. Mit Luft- oder separater Wasserspülung. Verwendung für Gesteinsbohrungen und Überlagerungsbohrungen. Erforderlicher Öldruck 150 - 250 bar. Spülluftverbrauch ca. 6 - 8 m³/min, 7 bar. Spülwasserverbrauch ca. 20 - 40 l/min, 7 bar abhängig von der Bodenbeschaffenheit. Ohne: Einsteckende Bohrwerkzeug. Einsatz in Verbindung mit hydraulischem Bohrwagen K.0.10.
Kenngröße(n): Max. Drehmoment (Nm).

Nr.	max. Drehmoment	Schlagzahl	Schlagenergie	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	Nm	1/min	Nm	kg	Euro	Euro	von Euro bis	
K.0.15.0001	120	3000	160	52	19400,00	407,00	660,00	775,00
K.0.15.0002	250	3700	250	120	29700,00	625,00	1010,00	1190,00
K.0.15.0050	5000	2400	400	270	30200,00	635,00	1030,00	1210,00
K.0.15.0100	10000	2400	400	400	32500,00	685,00	1110,00	1300,00
K.0.15.0125	12500	2600	500	530	41200,00	865,00	1400,00	1650,00
K.0.15.0160	16000	2100	800	650	42000,00	880,00	1430,00	1680,00
K.0.15.0270	27000	2600	900	820	53700,00	1130,00	1830,00	2150,00

Gewählt: Bohrhammer, hydraulisch K.0.15.0100, Seite K6, BGL 2007

LEISTUNGSERMITTLUNG – HERSTELLUNG DER BOHRLÖCHER

Die Bohrleistung wird mit 10 lfm/h angenommen !

Dauer der Herstellung der Bohrlöcher

312 m (Gesamtbohrlänge) / 10 m/h = 31,2 h

KOSTERMITTLUNG – HERSTELLUNG DER BOHRLÖCHER

Gerätekosten

- Bohrwagen mit Raupenfahrwerk, hydraulisch K.0.10.0114

AV/h = 7.500 €/Mo x 0,45 / 172 h/Mo = 19,62 €/h

Rep/h = 4.190 €/Mo x 0,50 / 172 h/Mo = 12,18 €/h

- Bohrhammer, hydraulisch K.0.15.0100

AV/h = 1.200 €/Mo x 0,45 / 172 h/Mo = 3,14 €/h

Rep/h = 685 €/Mo x 0,50 / 172 h/Mo = 2,00 €/h

Gesamtkosten

AV = (19,62 €/h + 3,14 €/h) x 31,2 h = 710,11 €

Rep = (12,18 €/h + 2,00 €/h) x 31,2 h = 442,42 €

Betriebsstoffkosten

- Bohrwagen mit Raupenfahrwerk, hydraulisch K.0.10.0114 - Motorleistung 114 kW

Diesel = (114 kW x 0,20 l/kWh x 1,15 €/l) x 31,2 h = 818,1 €

Schmierstoffe = 0,1 x 818,1 € = 81,81 €

Gesamtkosten

818,1 € + 81,81 € = 900,0 €

Personalkosten

Die Arbeitsmannschaft setzt sich wie folgt zusammen :

- 1 Maschinist
- 1 Helfer

(1 Maschinist + 1 Helfer) x 40 €/h x 31,2 h = 2496 €

EINSTELLUNG DER KUNSTSTOFFROHRE, ABLASSEN DER SPRENGLADUNGEN UND SPRENGEN

Die notwendige Zeit für diesen Teilprozess wird mit 0,3 h pro Bohrloch angenommen und wird von Hand durchgeführt.

Dauer dieser Teilprozesse

26 Bohrlöcher x 0,3 h/Bohrloch = 7,8 h

KOSTENERMITTLUNG

Betriebsstoffkosten

Kunststoffrohre : 312 m (Kunststoffrohrlänge) x 5 €/lfm = 1560 €

Sprengstoffe : 2.000 €

Personalkosten

Die Arbeitsmannschaft setzt sich wie folgt zusammen:

- 3 Helfer

3 Helfer x 40 €/h x 7,8 h = 936 €

Die Kalkulationsergebnisse sind in der nachfolgenden Tabelle zusammengefasst:

		KOSTEN				DAUER
		Personal	Geräte	Betriebsstoffe	Summe	
TEILPROZESS	Herstellung der Bohrlöcher	2 496 €	1 153 €	900 €	4 549 €	31,2 h
	Einstellung der Kunststoffrohre, Ablassen der Sprengladungen, Sprengen	936 €	0 €	3 560 €	4 496 €	7,8 h

Obwohl die Ergebnisse nur Annäherungswerte sind, kann man sich eine Vorstellung von dem Einfluss eines stark verdichteten Bodens auf die Herstellung einer Spundwand machen. 9.000 Euro Zusatzaufwand und 39 Stunden Betriebsverzögerung sind keinesfalls erwünscht.

5 Injektionen

5.1 Vorwort

„Unter einer Injektion versteht man im allgemeinen das Einpressen wäßriger Mischungen in die Hohlräume des Baugrundes. Diese Hohlräume sind Klüfte, Spalten, Risse und Poren. Durch die Injektion lässt sich eine Verbesserung des Baugrundes erreichen, wobei der Boden lediglich abgedichtet oder abgedichtet und verfestigt wird“²⁰

Die Injektionstechnik wurde zum ersten Mal im Jahr 1876 benutzt, als Zementinjektionen zur Abdichtung von Klüften und Spalten im Felsuntergrund einer Talsperre. Heute werden sie zu folgenden Zwecke verwendet :

- Auffüllung
- Abdichtung
- Verfestigung
- Verpressung
- Verdichtung
- Hebung

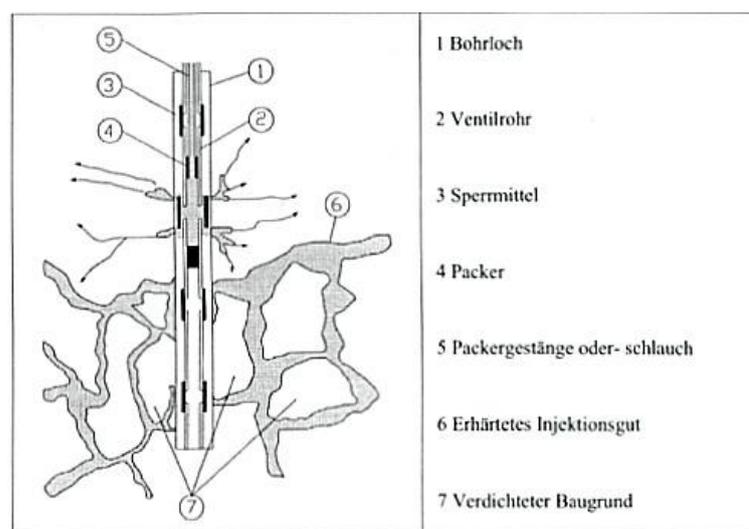


Abb. 53 Zementskelett einer Injektion [13]

Die Anwendungsbereiche der Injektionen sind von der Bauaufgabe und den Bodenverhältnissen abhängig. Sie können folgenderweise beschrieben werden :

- Unterfangungen von Fundamenten und Fundamentsicherung
- Fundamentverbreiterung
- Baugrubensicherung
- Böschungsstabilisierung
- Verfestigung des Bodens

²⁰ Buja 1998,S.463.

■ Schirminjektionen im Tunnelbau

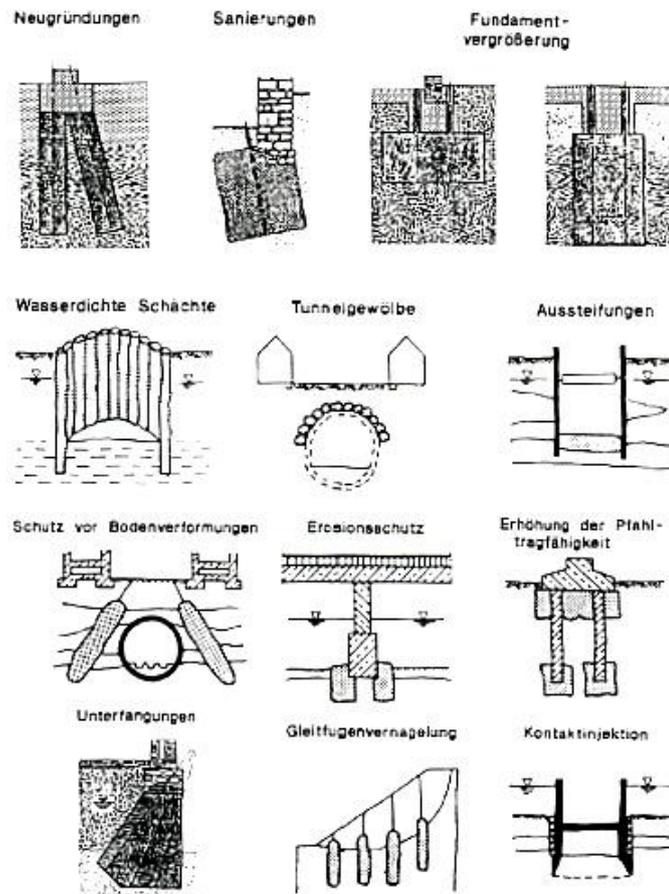


Abb. 54 Anwendungsbeispiele für Injektionen [3]

Man unterscheidet drei Injektionsverfahren :

1. Feststoffinjektionen

Bei diesem Verfahren können folgende Stoffe zum Einsatz kommen : Norm-Zement, Ultrafein-Zement, Bentonit, Dämmert und verschiedene Gemische. Es ist anwendbar bei klüftigem und verwittertem Fels, Lockergesteinen, Kies oder Grobsand.

2. Chemische Injektionen

In diesem Fall wird ein chemisches Gemisch in den Boden eingepreßt, das nach einiger Zeit erhärtet und den umgebenden Boden verfestigt. Dieses Verfahren wird verwendet, wenn folgende Bodenarten vorhanden sind : Feinkies, Fein-bis Grobsand, grober Schluff. Wegen Umweltverträglichkeitsgründen ist die Anwendung der chemischen Injektionen sehr beschränkt.

3. Hochdruck-Injektionsverfahren (HDI)

Das Hochdruck - Injektionsverfahren ist im Gegensatz zu den anderen Injektionsverfahren, für alle Bodenarten geeignet. Es werden hohe Drücke erzielt (bis 600 bar), der Baugrund wird aufgerissen und mit einer Zementsuspension vermischt. Aufgrund der Verwendung

umweltfreundlichen Materialien kann das HDI-Verfahren auch in Gebieten mit wasserrechtlichen Auflagen benutzt werden.

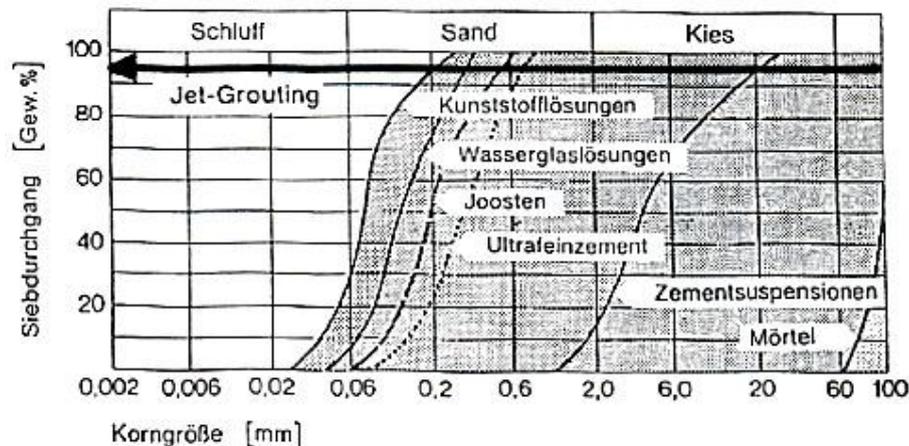


Abb. 55 Bodenabhängige Anwendungsgrenzen für die Injektionsverfahren [3]

5.2 Injektionsverfahren

5.2.1 Feststoff-Injektionen

Die am häufigsten verwendeten Feststoff-Injektionsmitteln sind Zement-Suspensionen und Ton-Zement-Suspensionen. Sie sind im Kies, solange der Sandanteil (Korndurchmesser <2 mm) nicht mehr als 15 bis 20% beträgt, einsetzbar.

In der Regel werden die Suspensionen aus Wasser und Zement mit einem w/z-Faktor von 0,5 bis 5,0 zusammengesetzt. Zementmischungen sind keine stabilen Suspensionen, da die Zementkörner nur durch die Bewegung in Schwebelage gehalten werden.

In den letzten Jahren werden sehr häufig Feinstbindemittel verwendet. Sie sind feinkörnige Bindemittel, deren Herstellungsprozess nach einem besonderen Verfahren mit einer sehr hohen Kornfeinheit durchgeführt wird.

Die Druckfestigkeit nach der Erhärtung der Mischung liegt in der Größenordnung von 10 N/mm² und wird von dem Zementanteil bestimmt. Eine Stabilisierung der Suspension erfolgt durch eine Zugabe von 2 bis 5% Ton, bezogen auf den Zementanteil. Ein Rückgang der Festigkeiten muss aber in Kauf genommen werden. Füllstoffe wie Sand, Flugasche o.ä. können den Zementsuspensionen bei Böden mit sehr großen Durchlässigkeiten zugegeben werden. Auf diese Weise werden größere Poren wirtschaftlich ausgefüllt. Hierbei müssen die Änderungen der physikalischen Eigenschaften durch das Füllmaterial unter Acht genommen werden.

5.2.2 Chemische Injektionen

Das Haupteinsatzgebiet von Chemikalinjektionen ist das Verpressen von Sandböden, deren Grobschluffanteil (Korngröße <0,06 mm) 10% nicht übersteigen darf. Die Chemikalinjektionen sind in zwei Arten eingeteilt :

- Zwei Flüssigkeiten werden nacheinander im Boden verpreßt, die bei Berührung spontan versteifen und verkitten
- Eine Flüssigkeit mit mehreren Komponenten wird eingepreßt, die sich nach einer gewissen Zeit in ein Gel umgewandelt

Das erste chemische Injektionsverfahren wurde 1926 von Joosten entwickelt. Bei diesem Verfahren wird ein unverdünntes Wasserglas in den Boden gepreßt. Solches Wasserglas kann als eine Lösung von Quarzsand in Natronlauge angesehen werden. Als nächster Schritt wird eine konzentrierte Chlorkalziumlösung verpreßt. Das Zusammentreffen beider Lösungen erzeugt eine feste Masse, die den Boden verfestigt und die Poren abdichtet. Je nach Bodenart, hat der nach Joosten verfestigte Boden Festigkeiten von 3 bis 8 MN/m².

Eine Erweiterung des Anwendungsbereichs und große technische und wirtschaftliche Vorteile der chemischen Injektionen wurden mit der Erfindung vom sogenannten „Monour-Verfahren“ erzielt. Bei diesem Verfahren wird dem mit Wasser verdünnten Wasserglas ein Härter zugegeben. Die niedrigviskosen Mischungen werden zunächst hergestellt und danach in einem Arbeitsgang („One-shot-Verfahren“) injiziert. Der Härter setzt nach einer zeit- und temperaturabhängigen Reaktion eine Säure frei, die eine Kieselsäuregel-Ausscheidung bewirkt. Auf diese Weise wird der Boden verkittet. Als Kippzeit bezeichnet man die Zeit vom Anmischen der Chemikalien bis zu dem Zeitpunkt, zu dem die Grenze der Pumpbarkeit erreicht wird. Sie ist mischungs- und temperaturabhängig. Die Kippzeiten liegen in der Größenordnung von 20 bis 60 Minuten. Die erreichbaren Festigkeiten sind vom Grad der Porenfüllung, dem Ungleichförmigkeitsgrad des Bodens und der Anfangsviskosität des Injektionsmittels abhängig. Die üblichen Festigkeiten von Chemikal-Injektionen sind von 2 bis 8 MN/m².

5.2.3 Kunstharzinjektionen

Die Kunstharzinjektionen sind eine Art der chemischen Injektionen. Aufgrund der hohen Kosten werden sie aber nur in Sonderfällen verwendet. Ihre sehr niedrige Viskosität von $\eta=5$ cP gewährleistet das Injizieren auch in schluffigen Sänden. Kunstharzinjektionen werden vor dem Einpressen angemischt und zählen zu den Einkomponenten-Verpreßmitteln.

5.3 Ausführung von Feststoff-und Chemikalinjektionen

Bei der Ausführung von Feststoff-und Chemikalinjektionen sind folgende Einzelschritte zu beachten, für die besondere Techniken entwickelt wurden und für die entsprechende Geräte vorgehalten werden müssen :

- Herstellen eines Bohrloches
- Einbau von Injektionsrohren
- Anmischen eines Verpreßmittels

- Einpressen

Die Wahl der Verfahren und Geräte wird von den Baugrundverhältnissen und den Verpreßmitteln festgelegt.

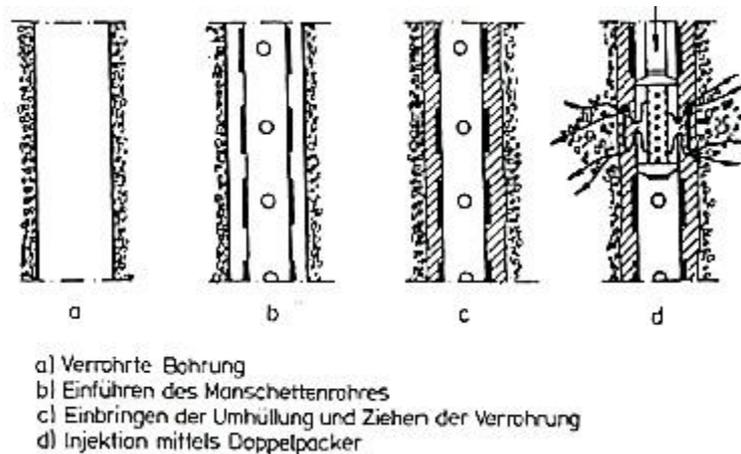


Abb. 56 Arbeitsschema bei der Injektion [3]

5.3.1 Herstellung der Bohrlöcher

Die Bohrungen können abhängig von den Baugrundverhältnissen unverrohrt (mit oder ohne Stützflüssigkeit) oder verrohrt errichtet werden. Das eigentliche Bohrgerät kann schlagend, drehschlagend oder nur drehend eingebracht werden. Ein oft benutztes Verfahren ist das Herstellen der Löcher mit rotierendem Bohrmeißel und am Gestänge umlaufender Spülung. Die Spülflüssigkeit (Bentonit-Suspension oder Bentonit-Zement-Suspension) gewährleistet die Stabilität der Bohrlochwandung und dient als Fördermedium für das Bohrgut. Die Bentonit-Zement-Suspensionen werden bevorzugt, da nach dem Einsetzen der Verpreßrohre ohnehin ein erhärtendes Sperrmittel zwischen Bohrlochwandung und Verpreßrohr vorhanden sein muss.

Die Anforderungen an den Bohrgeräten sind Mobilität und schnelles Umsetzen. Weiterhin soll die Errichtung der Bohrungen praktisch unter jedem Neigungswinkel ausgeführt werden können. In der Regel kommen Drehbohrgeräte und Schlagbohrgeräte auf Raupenfahrwerk vor.

5.3.2 Einbau der Injektionsrohre

Zur Herstellung von injizierten Erdwänden und Gebäudeunterfangungen kommt in der Regel das Manschettenrohrverfahren zum Einsatz. Es werden in die Bohrlöcher Manschettenrohre (Kunststoffrohre mit Durchmessern von ca. 30-60 mm) eingebracht (siehe Abb. 57). Sie werden in Abständen von 33 bis 50 cm ringförmig gelocht. Die Abdichtung der Öffnungen erfolgt durch Gummihüllen (Manschette). Diese Gummihülle funktioniert wie ein Ventil, das sich beim Verpressen öffnet.

Das Manschettenrohr wird bei unverrohrten Bohrungen in eine stützende Flüssigkeit eingestellt. Wenn als Stützflüssigkeit eine Bentonit-Suspension verwendet wird, muss sie gegen eine erhärtende Mantelmischung (Bentonit-Zement-Suspension) ausgetauscht werden.

Bei verrohrten Bohrungen wird nach dem Erreichen der Endtiefe das Manschettenrohr eingebaut. Die erhärtende Bentonit-Zement-Suspension wird beim Ziehen der Verrohrung eingefügt.

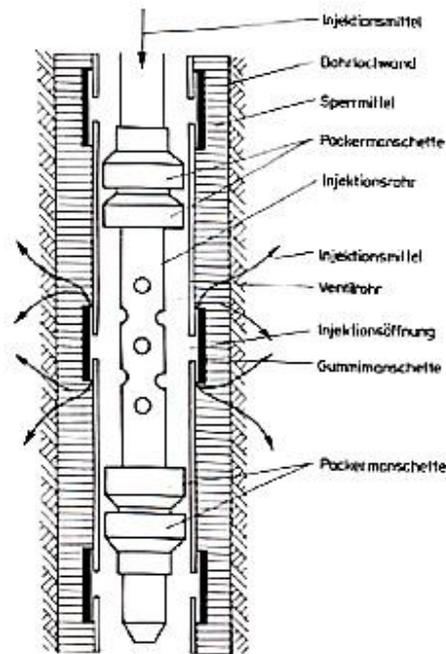


Abb. 57 System des Manschettenrohres [3]

5.3.3 Einpressen

Innerhalb der Manschettenrohre werden Doppelpacker eingesetzt, die den getrennten Beaufschlag von jeder einzelnen Gummimanschette gewährleisten. Die Manschetten öffnen sich unter dem Druck des Verpreßmittels, die erhärtete Stützflüssigkeit wird aufgesprengt und das Injektionsgut in den Boden gepreßt. Bei Verminderung des Druckes verschließen die Manschetten die Öffnungen wieder. Dieser Vorgang kann beliebig wiederholt werden. Um die Injektionsöffnung bilden sich Wulste verfestigten Bodens.

In der Regel erfolgt die Injektion von unten nach oben. Bei inhomogenen Böden kann es notwendig sein, durch Zement-Suspensionen zunächst die Bereiche großer Porenräume zu verfestigen und danach mit Chemikalinjektionen die feinkörnigere Schichten zu stabilisieren. Der Abstand der Injektionsrohre liegt in der Größenordnung von 0,5 bis 2 m. Er ist von der Durchlässigkeit des Bodens und den Eigenschaften des Verpreßmittels abhängig.

Die Verpreßdrücke sind von 2 bis 5 bar und die Verpreßleistungen ca. 5 bis 15 l/min. Die Drücke werden durch Hydrostatik-Pumpen und Verdrängungspumpen generiert. Bei Wechsellagerung von Schichten mit unterschiedlicher Durchlässigkeit können verschiedene Injektionsmittel verwendet werden. Nachinjizieren ist auch möglich. Ein Vorteil des Verfahrens ist, dass Bohren und Verpressen getrennte Arbeitsgänge sind.

5.3.4 Anmischen des Verpreßmittels

Bei Zement- und Bentonit-Zement-Mischungen als Injektionsmittel ist eine gute Vermischung der einzelnen Komponenten von großer Bedeutung. Sie gewährleisten die notwendige Fließfähigkeit und das wenige Materialabsetzen. Das wird durch den Einsatz hochtouriger Spezialmischer erreicht. Die Aufbereitung wird in zentralen Mischerstationen durchgeführt, die in Injektionscontainern installiert und mit Überwachungs-, Steuer- und Aufzeichnungsgeräten ausgestattet sind.

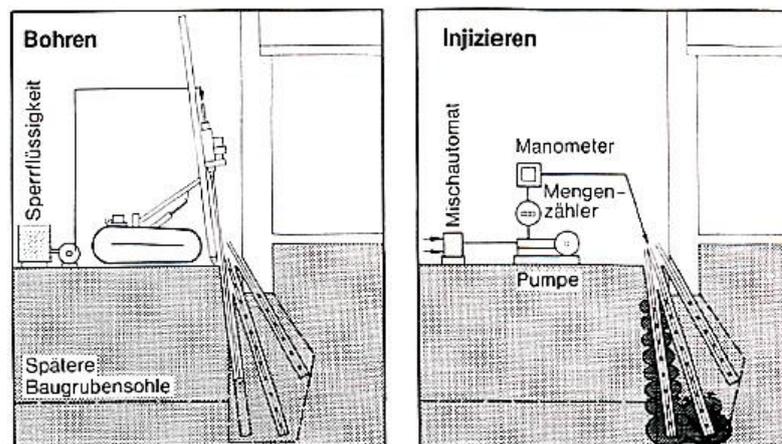


Abb. 58 Herstellungsphasen: Bohren und Injizieren [3]

5.4 Hindernisse bei der Ausführung von Injektionen-Auswirkung auf Leistung und Kosten

5.4.1 Hindernisse beim Herstellen der Bohrlöcher

„Für das Herstellen der Bohrlöcher stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, deren Anwendung sich im wesentlichen nach der Festigkeit des zu durchtörenden Fest-, oder Lockergesteins richtet. Auch die geforderte Bohrtiefe kann die Auswahl des Bohrverfahrens beeinflussen.“²¹

Eines der größten Probleme bei der Errichtung von Bohrlöcher ist die Stabilität der Bohrlochwand. Sie muss stabil sein, damit größere Partikel in den Ringraum zwischen

²¹ Kutzner 1991, S.157.

Bohrlochwand und Bohrwerkzeug nicht fallen und sich verkeilen können, oder gar das ganze Bohrloch zusammenstürzt. Die Tendenz zur Instabilität wächst naturgemäß mit zunehmender Klüftigkeit im Fels und mit abnehmender Reibung und Kohäsion im Lockergestein. In der Regel sind senkrechte Bohrlöcher standfester als geneigte.

Instabile Bohrlöcher müssen gestützt werden. Das kann mit Hilfe einer mit Feststoff angereicherten Spülung passieren. In den Fällen von Entweichung der Stützflüssigkeit in die Umgebung oder wenn das Bohrloch freibleiben soll, muss ein Futterrohr eingebaut werden. Der Außendurchmesser des Futterrohres muss größer als der Außendurchmesser des Bohrwerkzeuges und des unverrohrten Bohrlochs sein. Es muss in Betracht genommen werden, dass das an der Bohrlochwand überstehende Material beim Nachschieben des Futterrohres von dessen Rohrschuh abgespannt werden muss. Bei einem zu festen Material oder einer zu großen Reibung am Futterrohr, wird das Bohrloch in der betreffenden Tiefe abgesetzt und mit geringerem Durchmesser weitergebohrt. Die zugehörigen Futterrohre passen teleskopartig ineinander. Es gibt verschiedene Faktoren, die die Bohrkosten beeinflussen. Generell kann man behaupten, dass die Bohrkosten ansteigen mit:

- der Gesteinfestigkeit
- dem Bohrdurchmesser
- der Bohrtiefe

5.4.1.1 Hindernisse beim Drehbohren

Die Drehbohrung bezeichnet man als Rotarybohrung. Das Bohrwerkzeug wird durch ein am Bohrmast auf- und abwärts beweglichen Kraftdrehkopf in Drehung versetzt. Parallel dazu wird die Spülung durch das Gestänge nach unten gedrückt. Sie steigt im Ringraum zwischen Bohrlochwand und Bohrgestänge wieder zutage. Es gibt einige wichtige Faktoren, die eine Anpassung zu dem erbohrenden Gestein erfordern:

- Drehgeschwindigkeit
- Bohrandruck
- Spülstromgeschwindigkeit
- Art der Bohrkronen

Drehgeschwindigkeit, Bohrandruck und Spülgeschwindigkeit müssen unabhängig regelbar sein. Der Antrieb des Kraftdrehkopfes erfolgt üblicherweise durch hydraulische Pumpen, die selbst von Elektromotoren oder Verbrennungsmotoren angetrieben werden.

Der Bohrandruck wird mechanisch durch Kettenvorschub oder hydraulisch durch Vorschubzylinder erzielt. Er beeinflusst den Bohrfortschritt und den Kronenverschleiß. Zu hoher Andruck kann eine Abweichung des Bohrlochs aus der Sollrichtung verursachen. Eine unerwünschte Abweichung und ein unnötiger Kronenverschleiß sind hauptsächlich die

Gründe, weshalb die Bohrkosten und die Qualität der Bohrung von der Erfahrung des Bohrmaschinenführers wesentlich abhängen.

Die Spülstromgeschwindigkeit muss ausreichen um die gelösten Feststoffe nach oben zu befördern und deren Absinken im Ringraum zwischen Gestänge und Bohrlochwand zu verhindern. Deshalb ist die Spülwirkung nicht nur von der Partikelgröße, sondern auch vom Verhältnis des Gestängedurchmessers zum Bohrlochdurchmessers abhängig.

Im Festgestein kommen als Bohrwerkzeug Bohrkronen mit Hartmetall- oder mit Diamantbesatz und Rollenmeißel mit Hartmetall zum Einsatz. Ihre Auswahl ist von der Gesteinhärte und dem zugelassenen Ausmaß der Störung des Gesteins bestimmt. Hartmetallwerkzeuge erzeugen gröberes Bohrgut als Diamantkronen. Sie haben aber den Nachteil, dass sie auch eine größere Beschädigung der Bohrlochwand verursachen können.

5.4.1.2 Hindernisse beim Schlagbohren

„Schlagbohrverfahren sind zum Herstellen von Bohrlöchern in den meisten Festgesteinen ausgezeichnet geeignet. Sie gewährleisten wirtschaftliches Bohren und einen großen Bohrfortschritt. Das Prinzip der Schlagbohrverfahren mit Hammer übertage und mit Hammer im Bohrloch ist dem der Rotarybohrung ganz ähnlich.“²²

Als Bohrwerkzeuge dienen nur Kronen mit Hartmetall- oder Spezialstahlbesatz und die Bohrlochsohle wird im ganzen Querschnitt zerschlagen. Das Bohrgut wird mit Wasser- oder Luftspülung, oder mit einem Wasserluftgemisch zur Staubbinding ausgetragen.

Eines der häufigsten Probleme beim Schlagbohren ist das Bohren unter dem Grundwasserspiegel. In solchen Fällen ist die Luftspülung nicht mehr in der Lage, Bohrgut und Wasser aus dem Bohrloch zu fördern – es entsteht eine niedrige Leistung.

Das schlagende Bohren beschädigt die Bohrlochwand vielmehr als drehendes Bohren. Das gelöste Bohrgut ist gröber und beeinträchtigt die Injizierbarkeit des Gebirges. Das ist möglich aufgrund einer Beschädigung der an der Bohrlochwand angeschnittenen Kluftöffnungen und darin abgesetzten Bohrgutes.

5.4.1.3 Kohäsionsloser Boden

Die Bohrlöcher im rolligen Boden sind in der Regel nicht standfest. Deshalb ist eine Verrohrung oder eine Stabilisierung des Bohrlochs durch Stützflüssigkeit notwendig. Als Spülung dienen Wasser oder Suspension mit Bentonit oder Zement.

Der Einsatz einer kurzen Verrohrung kann mit der Bohrmaschine erfolgen. Für lange Futterrohre aber wird eine eigene Verrohrungsmaschine verwendet. Die Benutzung dieser Maschine kostet viel Zeit und der Bohrfortschritt wird erheblich herabgesetzt.

²² Kutzner 1991, S.162.

Als Bohrwerkzeuge im rolligen Boden dienen Endlosschnecken, Kern- und Vollbohrkronen sowie Rollenmeißel.

Die Verwendung eines Kernrohrs ist besonders problematisch. Es entsteht die Gefahr, dass das Bohrgut ganz oder teilweise aus dem Kernrohr herausfällt und nicht gefördert werden kann. In solchem Fall wird es auf der Bohrlochsohle zerbohrt und ausgespült.

5.4.2 Bohrlochabweichung

Die Tendenz zur Abweichung von der vorgesehenen Richtung ist bei allen Bohrlöchern zu sehen. Diese Abweichung ist von dem Baugrund und dem Bohrverfahren abhängig und nimmt mit der Bohrtiefe zu. Zu große Abweichungen können ein Nichtschließen der Injektionskörper verursachen.

Es gibt verschiedene Faktoren, die die verfahrensbedingte Abweichungen unterstützen :

- Ungenaues Einrichten der Bohrmaschine
- geringe Standfestigkeit der Bohrmaschine
- geringer Bohrdurchmesser
- biegsames Gestänge (kleiner Durchmesser)
- kurze Bohrstangen (viele Gewinde)
- mangelhafte Verschraubung der Bohrstangen
- zu hoher Andruck, zu hohe Drehzahl
- großer Durchmesserunterschied zwischen Gestänge und Bohrkronen

Die Drehbohrungen sind richtungsgenauer als Schlagbohrungen.

Injektionen im Lockergestein spielen eine geringere Rolle als im Festgestein und ihre Bohrungen sind wenig tiefer. Man kann behaupten, dass die Bohrlochabweichung grundsätzlich von den großen Steinen im Baugrund oder anderen Bohrhindernissen herrührt und auf diese Weise vorwiegend gebirgsbedingt ist.

5.4.3 Hindernisse beim Herstellen des Einpreßkörpers

Das Herstellen des Einpreßkörpers kommt durch Einpressen des Injektionsgutes über die zuvor gebohrten Löcher in den Baugrund zusammen. Bei Anwesenheit von Festgesteinen werden die Bohr- und Injektionsarbeiten abwechselnd ausgeführt, indem neue Löcher erst dann gebohrt werden, wenn die Injektion der benachbarten Löcher abgeschlossen ist. Eine andere Vorgehensweise könnte folgendes verursachen :

- Übertritte von einem Bohrloch zum anderen wären unvermeidlich
- die Vollständige Erfüllung des Baugrundes im Injektionsbereich als auch die Kontrolle der Verpreßmenge je Bohrlochabschnitt wären gefährdet

Im Fall von Übertritt soll die Injektion unterbrochen werden bis der Verbindungsweg durch Injektion oder mit anderen Mitteln verstopft ist. Vor dem Beginn der abschließenden

Verpreßung der zugehörige Umgebung, müssen die verpreßten Bohrlöcher aus der Nachbarschaft her bis zur Endtiefe ausgebohrt werden.

Die Notwendigkeit neue Löcher erst dann zu bohren, wenn die Injektion der benachbarten Löcher abgeschlossen ist, führt zu einer niedrigen Leistung des Betriebes. Der kalkulatorische Leistungswert für das Verpressen von Injektionsgut ist ca. 1,50 m³/h bei drei Pumpen pro Tag, d.h je nach der Injektionsvolumen entstehen unterschiedliche Bohrunterbrechungen.

Die Verwendung von Packern steht immer unter Zweifel. Manche Fachleute meinen, dass das Verpreßen von oben nach unten ohne Packer die beste Methode ist. Das ist begründet mit der Gefahr der Packerumläufigkeit und dem damit verbundenen Risiko, dass der Packer nicht mehr gezogen werden kann. Wenn das passiert, muss der Packer mit größerem Durchmesser überbohrt werden.

Die richtige Bestimmung des Zeitpunkts für das Lösen des Packers ist eine schwierige Aufgabe.

„Der richtige Zeitpunkt zum Lösen des Packers soll zwei Überlegungen Rechnung tragen: Der Druck sollte solange gehalten werden, bis das Injektionsgut soweit abgebunden oder der Druck im Gebirge soweit abgeklungen ist, dass das Injektionsgut nach Lösen des Packers nicht mehr zurückwandern kann“²³

Beispielkalkulation: Injizieren bei der Anwesenheit von Festgesteinen

Bei einem Staudamm ist mit der Zeit eine erhöhte Durchlässigkeit des Bodens am rechten Ufer von der Luftseite festzustellen (siehe Abb. 59). Die geologische Untersuchungen konstatieren, dass der Untergrund von Festgesteinen zusammengesetzt ist. Es wird entschieden, dass der Boden durch 30 Injektionen verfestigt werden soll. Die Tiefe der Injektionen soll 12 m betragen. Die Anwesenheit von Festgesteinen aber erfordert, dass die Bohr- und Injektionsarbeiten abwechselnd ausgeführt werden müssen, d.h neue Löcher werden erst dann gebohrt, wenn die Injektion der benachbarten Löcher abgeschlossen ist (siehe Abb. 60).

²³ Kutzner 1991, S.195.

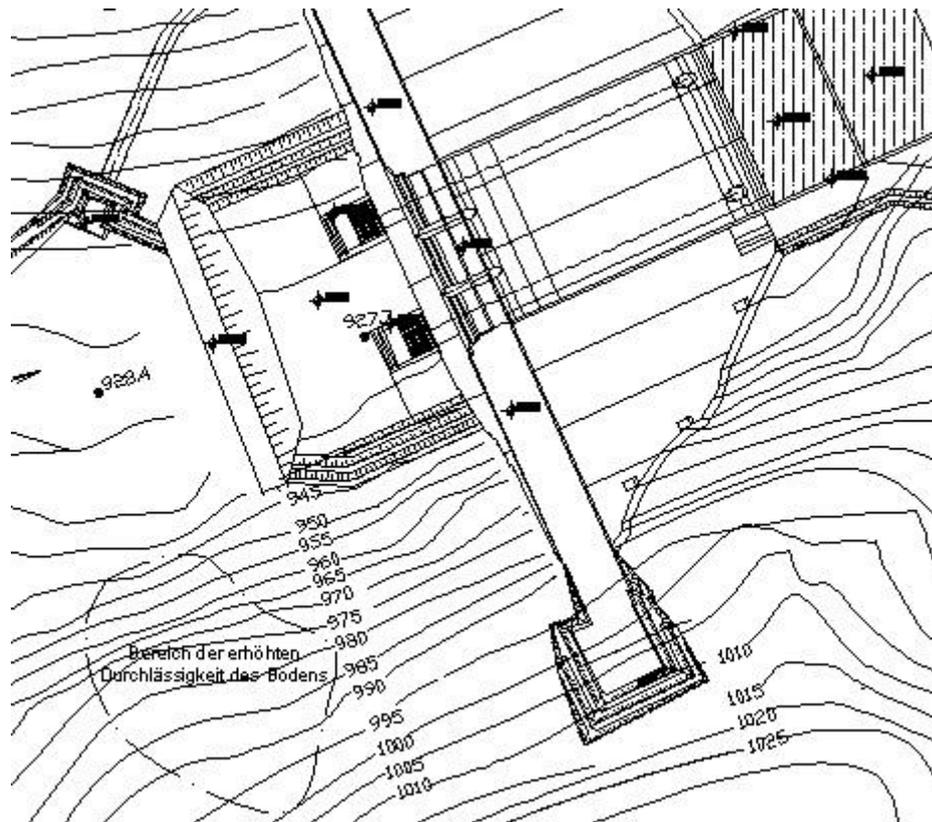


Abb. 59 Lageplan des Staudammes

Kalkulationsgrundlagen:

- Abminderungsfaktoren der monatlichen Sätze für:
 - Abschreibung und Verzinsung0,45
 - Reparaturentgelt.....0,50
- Arbeitsstunden / Monat.....172
- Arbeitstage (AT) / Monat.....21
- Mittellohncosten.....40,-- €/h
- Sprengstoffe.....2.000 €
- Kunststoffrohre.....5,-- €/lfm
- Strom.....0,25 €/kWh
- Diesel.....1,15 €/l

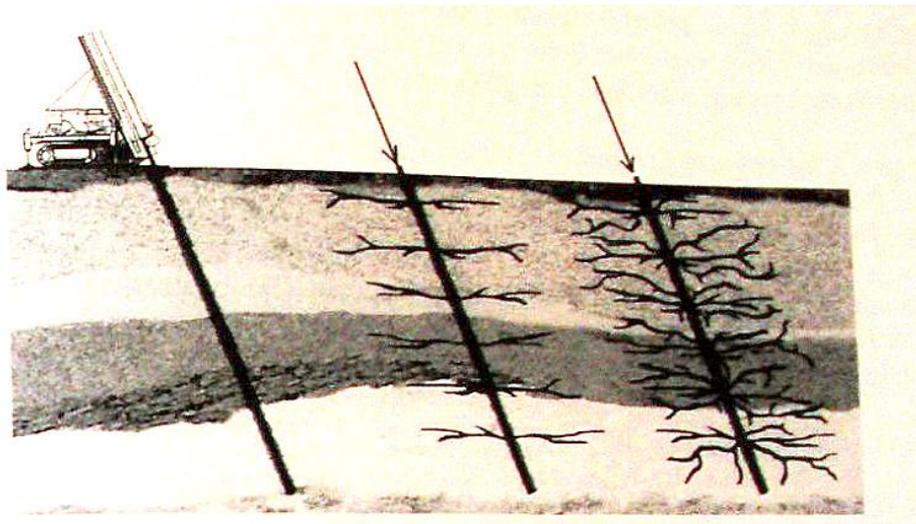


Abb. 60 Arbeitsschritte beim Injektionsverfahren [13]

KALKULATION – Bohr- und Injektionsarbeiten werden nicht abwechselnd durchgeführt

BOHREN UND INJIZIEREN

Für das Bohren sind folgende Geräte erforderlich:

- Bohrwagen mit Raupenfahrwerk, hydraulisch

K.0.10 Bohrwagen mit Raupenfahrwerk, hydraulisch 4180
BOHRWAGEN RAUPE HYD

Standardausrüstung:

Verwendung für Gesteinsbohrungen und Überlagerungsbohrungen. Mit pendelnd aufgehängten Fahrschiffen, Hydraulik-Fahrwerk. Lafetten-Schwenkbewegungen über Hydraulikzylinder, Kottenvorschub über Hydraulikzylinder oder Vorschubgetriebe. Hydraulik-Aggregat mit Dieselmotor, ausgelegt für Betrieb mit Bohrhämmer, Drehantrieb oder Doppelkopfboranlage.

Schwenkbarer Bedienungsstand, mit Schläuchen.

Ohne: Bohrhämmer, Bohrausrüstung.

Nr. 0075 - 0133 ohne Kabine. > Nr. 0145 mit Fahrerkabine.

Verschleißteil(e): Vorschubketten oder Vorschubseile einschl. aller Führungsteile, Schlittenführungen für Kraftdrehkopf oder Hammer, Spülköpfe einschl. Dichtungssätze und Düsen, Ausgleichsgestänge einschl. aller Abdichtungen, Einsätze von der Anbohrführung, Backeneinsätze für Gestänge- und Brechvorrichtungen, Einsatzbacken von Spannköpfen, Aullagepuffer der Lafette am Gebirge, Hammerseile, Gleitteile der Lafette.

Kenngröße(n): Motorleistung (kW).

Nr.	Motorleistung	Einsatzgewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	kW				kg	Euro
K.0.10.0075	75	8300	143000,00	3000,00	4880,00	5700,00
K.0.10.0104	104	12000	186500,00	3920,00	6350,00	7450,00
K.0.10.0114	114	14100	199500,00	4190,00	6800,00	8000,00
K.0.10.0133	133	16500	214500,00	4500,00	7300,00	8600,00
K.0.10.0145	145	23800	261000,00	5500,00	8850,00	10400,00

Gewählt: Bohrwagen mit Raupenfahrwerk, hydraulisch K.0.10.0104, Seite K3, BGL 2007

- Bohrhammer, hydraulisch

K.0.15 Bohrhammer, hydraulisch 4165
 HAMMER BOHR HYD

Standardausrüstung:

Drehschlagend, mit fest eingebautem oder angebautem umsteuerbaren Rotationsmotor. Bei 2-Motorenausführung wahlweise zuschaltbar. Mit Luft- oder separater Wasserspülung. Verwendung für Gesteinsbohrungen und Überlagerungsbohrungen. Erforderlicher Öldruck 150 - 250 bar. Spülluftverbrauch ca. 6 - 8 m³/min, 7 bar. Spülwasserverbrauch ca. 20 - 40 l/min, 7 bar abhängig von der Bodenbeschaffenheit. Ohne: Einsteckende, Bohrwerkzeug. Einsatz in Verbindung mit hydraulischem Bohrwagen K.0.10.

Kenngröße(n): Max. Drehmoment (Nm).

Nr.	max. Drehmoment	Schlagzahl	Schlagenergie	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
	Nm	1/min	Nm	kg	Euro	Euro	von Euro bis	
K.0.15.0001	120	3000	160	52	19400,00	407,00	680,00	775,00
K.0.15.0002	250	3700	250	120	29700,00	625,00	1010,00	1190,00
K.0.15.0050	5000	2400	400	270	30200,00	635,00	1030,00	1210,00
K.0.15.0100	10000	2400	400	400	32500,00	685,00	1110,00	1300,00
K.0.15.0125	12500	2600	500	530	41200,00	865,00	1400,00	1650,00
K.0.15.0160	16000	2100	800	650	42000,00	880,00	1430,00	1680,00
K.0.15.0270	27000	2600	900	820	53700,00	1130,00	1830,00	2150,00

Gewählt: Bohrhammer, hydraulisch K.0.15.0050, Seite K6, BGL 2007

Für das Injizieren sind folgende Geräte erforderlich :

- Verpresspumpe

J.6.02 Verpresspumpe - Bauart Exzenterpumpe 2561
 VERPRESSPUMPE EXZT

Standardausrüstung:

Exzentrerschneckenpumpe mit Elektro-Getriebemotor schallbar. Ohne: Misch- und Rührgeräte, Schläuche.

Pressstufe: 0; Pressdruck bis 16 bar
 Pressstufe: 1; Pressdruck >16 bis 25 bar

Verschleißteil(e): Rotor, Stator, Lager- und Wellenabdichtung (Stopfbuchsenpackung oder Gleitringdichtung), Pumpenschläuche

2561

Kenngröße(n): Pressstufe und Motorleistung (kW).

Nr.	Pressstufe	Motorleistung	max. Vol.-Strom-Druck	Umdrehungen	Exzenter-Stufenanzahl	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparaturkosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbetrag	
		kW	l/min * bar	1/min		kg	Euro	Euro	von Euro bis	
J.6.02.0002	0	0,15	2*12	750	2	24	1790,00	37,50	46,50	52,00
J.6.02.0006	0	0,60	13*12	750	2	33	2050,00	43,00	53,50	59,50
J.6.02.0060	0	6,00	200*12	700	2	165	3220,00	67,50	83,50	93,50
J.6.02.0150	1	15,00	600*12	700	2	320	4700,00	98,50	122,00	136,00
J.6.02.0220	0	22,00	830*12	350	2	450	6400,00	134,00	166,00	186,00
J.6.02.1025	1	2,50	40*24	750	4	60	2810,00	59,00	73,00	81,50
J.6.02.1150	1	15,00	380*18	700	3	285	4290,00	90,00	112,00	124,00
J.6.02.1300	1	30,00	500*24	350	4	560	7150,00	150,00	186,00	207,00

Gewählt: Verpresspumpe – Bauart Exzenterpumpe, J.6.02.0150, Seite J18, BGL 2007

■ Mischgerät

Nr.	Mischer- durchsatz	Motorleistung	Bohrerinhalt	Gewicht	Mittlerer Neuwert	Monatliche Reparatur- kosten	Monatlicher Abschreibungs- und Verzinsungsbeitrag	
	m ³ /h	kW	l	kg	Euro	Euro	von Euro bis	
J.6.20.0003	3	3,0	170	320	12800,00	179,00	320,00	358,00
J.6.20.0004	4	5,5	200	500	14800,00	207,00	370,00	414,00
J.6.20.0005	5	5,5	250	580	16400,00	230,00	410,00	459,00
J.6.20.0008	8	7,5	500	1000	18400,00	258,00	480,00	515,00
J.6.20.0010	10	11,0	750	1200	20500,00	287,00	515,00	575,00
J.6.20.0012	12	15,0	1000	1800	24500,00	343,00	615,00	685,00
J.6.20.0016	16	22,5	1100	2500	28600,00	400,00	715,00	800,00

Gewählt: Mischgerät für Verpresspumpen, Chargenbetrieb manuell, J.6.20.0005, Seite J22, BGL 2007

LEISTUNGSERMITTLUNG – BOHREN UND INJIZIEREN

Im Regelfall ist es keine Anforderung, dass Bohr- und Injektionsarbeiten abwechselnd durchgeführt werden müssen.

Dauer der Bohr- und Injektionsarbeiten

Die Bohrleistung wird mit 6 lfm/h angenommen !

Das Verpressen des Injektionsgutes wird mit 2,0 h pro Bohrung angenommen.

Bohrdauer: 30 Injektionen x 12 m (Tiefe) / 6 lfm/h = 60 h

Verpressdauer: 30 Injektionen x 2,0 h pro Bohrung = 60 h

Die Gesamtdauer für die Errichtung aller Injektionskörper (Bohren+Injizieren) beträgt 62 h (siehe Tabelle 5) ! Die Zwischenzeiten für die Umstellung der Geräte sind nicht berücksichtigt.

Stunden	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Bohren	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Injizieren	-	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Stunden	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Bohren	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Injizieren	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Stunden	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
Bohren	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Injizieren	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Stunden	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80
Bohren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Injizieren	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabelle 5. Zeitplan für die Herstellung der Injektionskörper im Regelfall

KOSTENERMITTLUNG – BOHREN UND INJIZIEREN**Gerätekosten – Bohren**

- Bohrwagen mit Raupenfahrwerk, hydraulisch K.0.10.0104

$$\text{AV/h} = 7.000 \text{ €/Mo} \times 0,45 / 172 \text{ h/Mo} = 18,31 \text{ €/h}$$

$$\text{Rep/h} = 3.920 \text{ €/Mo} \times 0,50 / 172 \text{ h/Mo} = 11,39 \text{ €/h}$$

- Bohrhammer, hydraulisch K.0.15.0050

$$\text{AV/h} = 1.200 \text{ €/Mo} \times 0,45 / 172 \text{ h/Mo} = 3,13 \text{ €/h}$$

$$\text{Rep/h} = 635 \text{ €/Mo} \times 0,50 / 172 \text{ h/Mo} = 1,84 \text{ €/h}$$

Gesamtkosten

$$\text{AV} = (18,31 \text{ €/h} + 3,13 \text{ €/h}) \times 60,0 \text{ h} = 1286,4 \text{ €}$$

$$\text{Rep} = (11,39 \text{ €/h} + 1,84 \text{ €/h}) \times 60,0 \text{ h} = 793,8 \text{ €}$$

Gerätekosten – Injizieren

- Verpresspumpe – Bauart Exzenterpumpe, J.6.02.0150

$$\text{AV/h} = 130 \text{ €/Mo} \times 0,45 / 172 \text{ h/Mo} = 0,34 \text{ €/h}$$

$$\text{Rep/h} = 98,5 \text{ €/Mo} \times 0,50 / 172 \text{ h/Mo} = 0,29 \text{ €/h}$$

- Mischgerät für Verpresspumpen, Chargenbetrieb manuell, J.6.20.0005

$$\text{AV/h} = 450 \text{ €/Mo} \times 0,45 / 172 \text{ h/Mo} = 1,18 \text{ €/h}$$

$$\text{Rep/h} = 230 \text{ €/Mo} \times 0,50 / 172 \text{ h/Mo} = 0,69 \text{ €/h}$$

Gesamtkosten

$$\text{AV} = (0,34 \text{ €/h} + 1,18 \text{ €/h}) \times 60,0 \text{ h} = 91,2 \text{ €}$$

$$\text{Rep} = (0,29 \text{ €/h} + 0,69 \text{ €/h}) \times 60,0 \text{ h} = 58,8 \text{ €}$$

Betriebsstoffkosten - Bohren

- Bohrwagen mit Raupenfahrwerk, hydraulisch K.0.10.0104 – Motorleistung 104 kW

$$\text{Diesel} = (104 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,15 \text{ €/l}) \times 60,0 \text{ h} = 1435,2 \text{ €}$$

$$\text{Schmierstoffe} = 0,1 \times 1435,2 \text{ €} = 143,52 \text{ €}$$

Gesamtkosten

$$1435,2 \text{ €} + 143,52 \text{ €} = 1578,72 \text{ €}$$

Betriebsstoffkosten - Injizieren

- Verpresspumpe – Bauart Exzenterpumpe, J.6.02.0150 – Motorleistung 15 kW

$$\text{Diesel} = (15 \text{ kW} \times 0,20 \text{ l/kWh} \times 1,15 \text{ €/l}) \times 60,0 \text{ h} = 207,0 \text{ €}$$

$$\text{Schmierstoffe} = 0,1 \times 207,0 \text{ €} = 20,7 \text{ €}$$

- Mischgerät für Verpresspumpen, Chargenbetrieb manuell, J.6.20.0005 – Motorleistung 5,5 kW

Diesel = (5,5 kW x 0,20 l/kWh x 1,15 €/l) x 60,0 h = 75,9 €

Schmierstoffe = 0,1 x 75,9 € = 7,59 €

Gesamtkosten

207,0 € + 20,7 € + 75,9 € + 7,59 € = 311,19 €

Personalkosten - Bohren

(1 Maschinist + 1 Helfer) x 40 €/h x 60 h = 4.800 €

Personalkosten - Injizieren

(1 Maschinist + 1 Helfer) x 40 €/h x 60 h = 4.800 €

KALKULATION – Sonderfall (Bohr- und Injektionsarbeiten abwechselnd ausführen)

Die Anforderung neue Löcher erst dann zu bohren, wenn die Injektion der benachbarten Löcher abgeschlossen ist, hat als Nachfolge eine verdoppelte Betriebsdauer (siehe Tabelle 6) und somit verdoppelte Geräte- und Personalkosten. Die Bohr- und Injektionsgeräte werden wieder mit 60 h eingesetzt, aber wegen der Wartezeiten müssen 120 h auf der Baustelle zur Verfügung stehen. Die Betriebsstoffkosten bleiben wie im Regelfall.

Stunden	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
Bohren	1	-	2	-	3	-	4	-	5	-
Injizieren	-	1	-	2	-	3	-	4	-	5
Stunden	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Bohren	6	-	7	-	8	-	9	-	10	-
Injizieren	-	6	-	7	-	8	-	9	-	10
Stunden	42	44	46	48	50	52	54	56	58	60
Bohren	11	-	12	-	13	-	14	-	15	-
Injizieren	-	11	-	12	-	13	-	14	-	15
Stunden	62	64	66	68	70	72	74	76	78	80
Bohren	16	-	17	-	18	-	19	-	20	-
Injizieren	-	16	-	17	-	18	-	19	-	20
Stunden	82	84	86	88	90	92	94	96	98	100
Bohren	21	-	22	-	23	-	24	-	25	-
Injizieren	-	21	-	22	-	23	-	24	-	25
Stunden	102	104	106	108	110	112	114	116	118	120
Bohren	26	-	27	-	28	-	29	-	30	-
Injizieren	-	26	-	27	-	28	-	29	-	30

Tabelle 6. Zeitplan für die Herstellung der Injektionskörper im Sonderfall

REGELFALL		KOSTEN				DAUER	GESAMTDAUER
		Personal	Geräte	Betriebsstoffe	Summe		
	Bohren	4 800 €	2 081 €	1 580 €	8 461 €	60 h	62 h
	Injizieren	4 800 €	150 €	312 €	5 262 €	60 h	
SONDERFALL		KOSTEN				DAUER	GESAMTDAUER
		Personal	Geräte	Betriebsstoffe	Summe		
	Bohren	9 600 €	4 162 €	1 580 €	15 342 €	60 h	120 h
	Injizieren	9 600 €	300 €	312 €	10 212 €	60 h	

Tabelle 7 Ergebnisse aus der Beispielkalkulation

Die Ausführung von Injektionen bei der Anwesenheit von Festgesteinen ist immer problematisch und die Kalkulation dieses Beispielen beweist zweifelsohne diese Behauptung. Verdoppelte Kosten und Errichtungsdauer sind nicht erwünscht, aber können auch nicht vermieden werden.

6 Düsenstrahlverfahren

6.1 Allgemeines

„Düsenstrahlverfahren ist ein Vorgang, der darin besteht, dass Boden oder mäßig festes Gestein in seine Bestandteile zerlegt und mit zementhaltiger Mischung versetzt bzw. teilweise durch diese Mischung ersetzt wird. Das Auflösen des Bodengefüges wird durch einen energiereichen Flüssigkeitsstrahl bewirkt, wobei die Flüssigkeit Zementsuspension sein kann.“²⁴

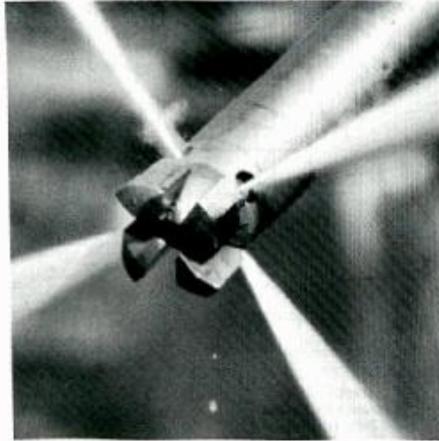


Abb. 61 Hochdruckdüse [3]

Im Gegensatz zu den herkömmlichen Injektionstechniken, wo Drücke in der Größenordnung von 20 bar zu verwenden sind, wird bei der Düsenstrahltechnik die Bodenstruktur durch einen Düsenstrahl mit Pumpendrücker von 100 bis 800 bar aufgelöst. Dieses Verfahren kann entweder für zeitlich begrenzte oder ständige Bauwerke zu unterschiedlichen Zwecken verwendet werden, wie z.B für:

- Gründungen für zu errichtende Gebäude
- Unterfangungen bestehender Fundamente
- Herstellung von Dichtwänden
- Herstellung tragender und stützender Baukörper
- Ergänzung zu anderen geotechnischen Arbeiten
- Bodenverbesserung

²⁴ EN 12716 2001, S.6

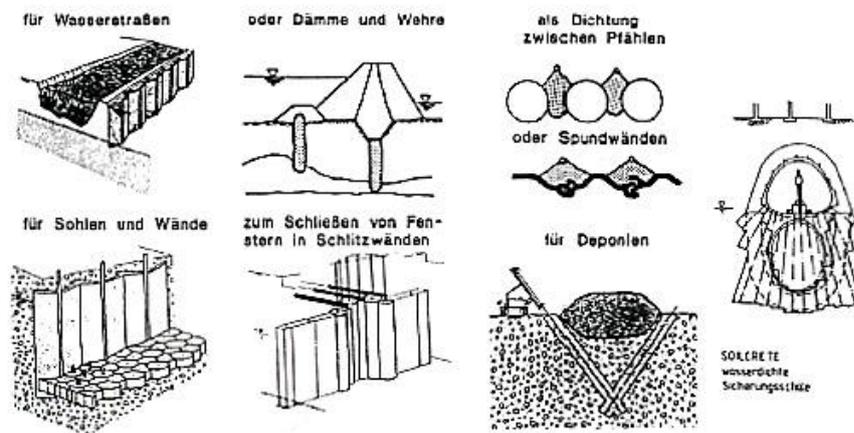


Abb. 62 Anwendungsmöglichkeiten des Düsenstrahlverfahrens [3]

Ein Düsenstrahlement ist das aus einem einzelnen Bohrloch durch den Flüssigkeitsstrahl erfasste Bodenvolumen. Die gebräuchlichsten Elemente sind Düsenstrahlsäulen (zylindrisches Element) und Düsenstrahllamellen (flächenhaftes Element). Als Düsenstrahlkörper bezeichnet man die Anordnung von Düsenstrahlelementen, die teilweise oder vollständig miteinander verbunden sind. Die meist anzutreffenden Körper sind:

- Düsenstrahldichtwand – Wand aus einzelnen Elementen
- Düsenstrahlsohle – horizontaler Körper, der im wesentlichen aus vertikal hergestellten Elementen besteht
- Düsenstrahlgewölbe – Gewölbe aus horizontalen oder flach geneigten Säulen
- Düsenstrahlblock – dreidimensionaler Körper

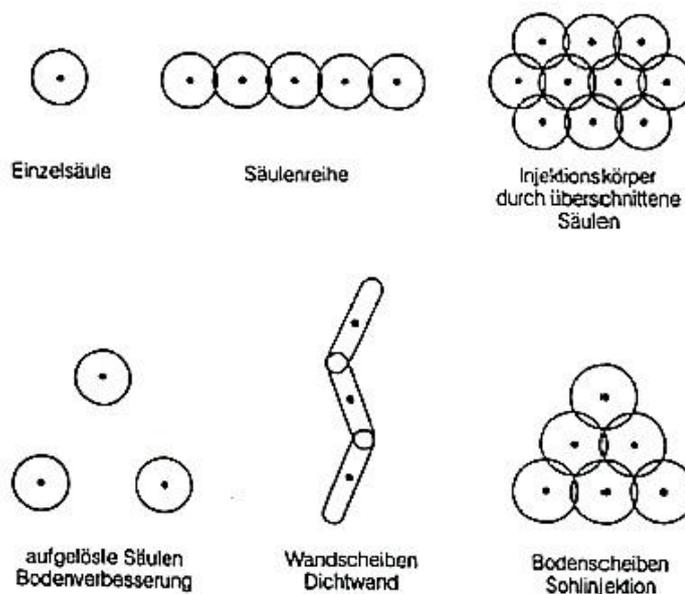


Abb. 63 Düsenstrahlkörper und Anordnungsmöglichkeiten [3]

Als Düsenstrahlparameter gelten:

- Druck der Flüssigkeit (einschl. Luft) im Düsengestänge

- Durchflussrate der Flüssigkeit im Düsengestänge
- Zusammensetzung der zementhaltigen Mischung
- Drehgeschwindigkeit des Düsengestänges
- Zieh-oder Eindringgeschwindigkeit des Düsengestänges

6.2 Verfahren

Man unterscheidet grundsätzlich zwei Düsenstrahlverfahrensarten:

- Soilcrete – Verfahren
- HDI – Verfahren

6.2.1 Das Soilcrete – Verfahren

Die Funktionsweise des Soilcrete-Verfahrens ist in drei Phasen unterteilt:

- Phase A : Abteufen des Bohrlochs auf die vorgesehene Gründungstiefe
- Phase B : Aufschneiden und –fräsen des anstehenden Bodens. Zu diesem Zweck wird ein Schneidstrahl aus Wasser oder aus Zementsuspension mit oder ohne Luftansatz bei einem Pumpendruck von 100 bis 400 bar verwendet.
- Phase C : Vermischen des gelösten Bodens mit Suspension aus Zement und Errichtung eines praktisch homogenen Boden-Zementkörpers.

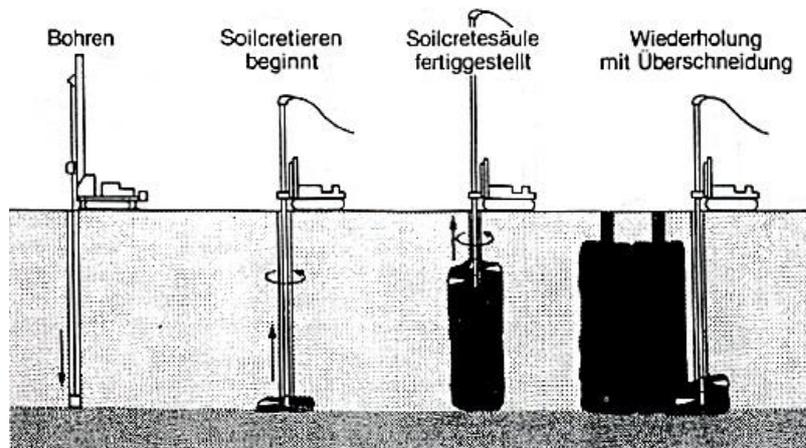


Abb. 64 Arbeitsschritte beim Soilcrete-Verfahren [3]

Abhängig von der Art der Schneidflüssigkeit unterscheidet man drei Soilcrete-Düsenstrahltechniken :

- Soilcrete S (single) : Bei dieser Technik wird in der Regel ein Einfachgestänge verwendet. Das Fräsen und die Zementzugabe werden mit einem Düsenstrahl aus Zement-Suspension ausgeführt
- Soilcrete D (double) : In solchem Fall wird ein Doppelgestänge verwendet, mit dem eine getrennte Zuleitung von Zement-Suspension und Luft erzielt wird. Das Fräsen und die Zementzugabe erfolgen mit einem luftummantelten Düsenstrahl aus Zement-Suspension

- Soilcrete T (triple) : Hier wird ein Dreifachgestänge benutzt. Mit der Hilfe dieses Gestänge können Wasser, Luft und Zement-Suspension getrennt eingesetzt werden. Zum Fräsen dient ein luftummantelter Hochgeschwindigkeits-Wasserstrahl. Die Zement-Suspensionzugabe erfolgt durch eine eigene Düse.

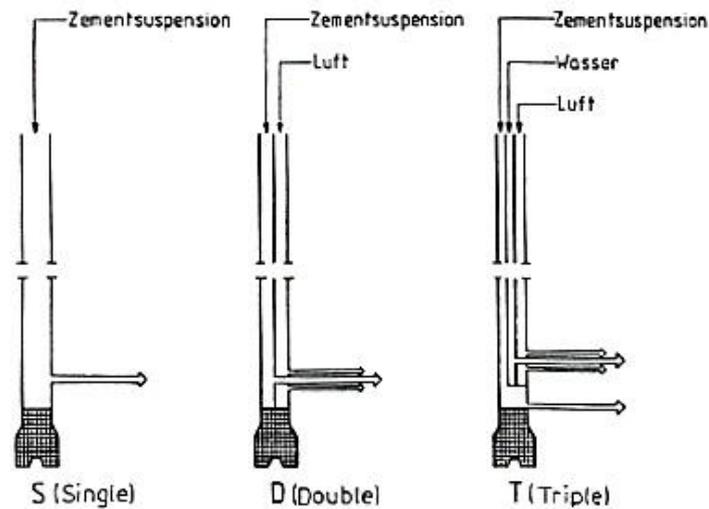


Abb. 65 Soilcrete-Düsenstrahltechniken S,D und T [3]

6.2.2 HDI – Verfahren

Das HDI-Verfahren ist in zwei Phasen unterteilt - Bohren und Injizieren

- Phase A : Bohren

Das Bohren erfolgt durch das übliche Bohrverfahren, vornehmlich unter Außenspülung. Das Bohrwerkzeug und das Bohrgestänge werden den hohen Drücken angepasst. Wenn die Endtiefe erreicht wird, wird es durch ein Ventil im Düsenhalter von Bohrspülung auf Düseninjektion umgeschaltet.

- Phase B : Injizieren

Für die Injektion verfügt man über zwei Hochdruckmediumsvarianten und vier Verfahrensvarianten, die dem anstehenden Boden entsprechend auszuwählen sind. Bei allen Verfahrensvarianten wird ein Druck in der Größenordnung von 400 bis 600 bar benutzt.

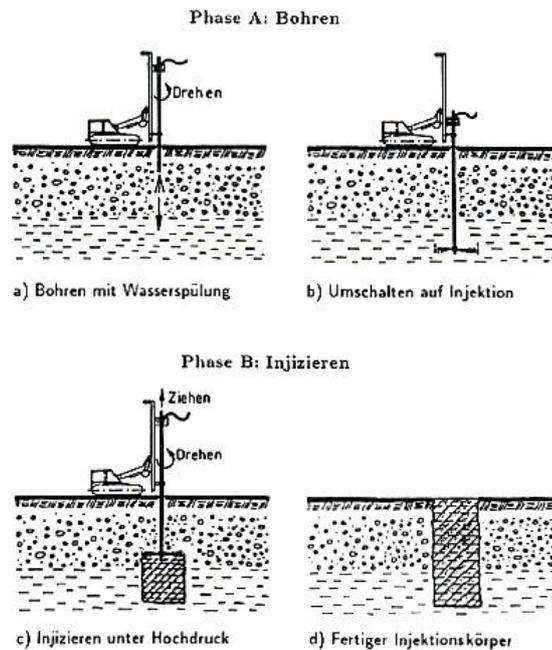


Abb. 66 Phasen des HDI-Verfahrens [3]

Hochdruckmedium Zement

Eine Zementsuspension tritt mit hoher Geschwindigkeit durch die Düsen im unteren Teil des Gestänges aus und schneidet den Boden im Bereich des Düsenstrahls auf. Der überschüssige Boden wird teilweise über den Bohrgutrücklauf zur Geländeoberfläche verdrängt. Rückwärts bleibt ein Boden-Zement-Gemisch. Dieses Verfahren hat sich bei rolligen Böden als besonders vorteilhaft erwiesen. Eine Zugabe von Luft kann die Reichweite erheblich steigern.

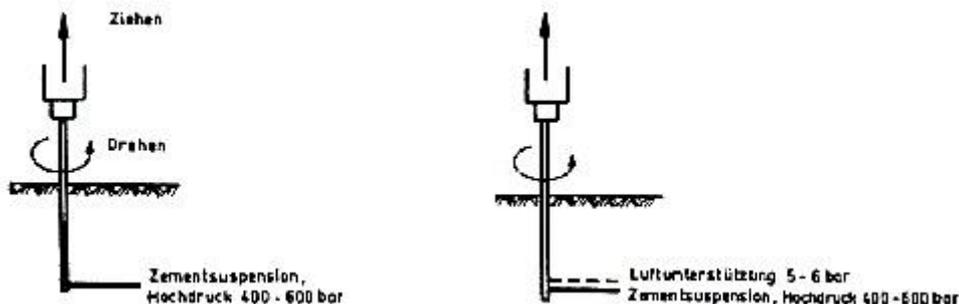


Abb. 67 Verfahrensvarianten IZ (links) und 3LZ (rechts) [3]

Hochdruckmedium Wasser

Bei der Anwesenheit von bindigen Böden ist die Anwendung eines Hochdruckwasserstrahles ergiebiger. Mit dem Einsatz dieses Strahles wird der anstehende Boden aufgefräst und zum Teil ausgespült. Der entstehende Hohlraum unterhalb des Düsenstrahles wird gleichzeitig mit einer Zement-Suspension unter niedrigem Druck (20 bis 40 bar) aufgefüllt. Für die Ausführung dieses Verfahrens kommt ein spezielles

Dreikanalgestänge zum Einsatz. Die Reichweite kann durch die Zugabe von Luft zum Hochdruckstrahl erheblich gesteigert werden.

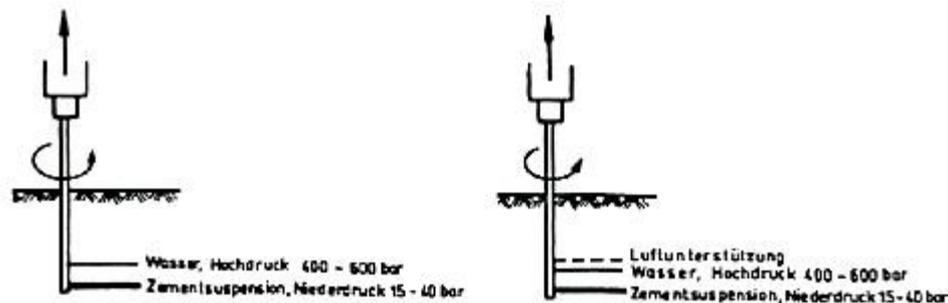


Abb. 68 Verfahrensvarianten 3WZ (links) und 3WLZ (rechts) [3]

6.3 Planung und Ausführung von Düsenstrahlarbeiten

Vor dem Beginn aller Planungs- und Ausführungsarbeiten müssen folgende Angaben zur Verfügung stehen:

- Ausführliche Beschreibung des Untergrundaufbaues, Angabe seiner geotechnischen Eigenschaften innerhalb des vorgesehenen Konstruktionsberichtes
- Hydrogeologische Bedingungen
- Randbedingungen (benachbarte Gebäude, unterirdische Bauwerke und Einbauten, Freileitungen und andere Ausführungsbehinderungen, Zugänglichkeit)
- Umweltauforderungen, besonders hinsichtlich der Entsorgung des ausgetragenen Rückflusses
- Zulässige Verformung zu unterfangender oder benachbarter Bauwerke

Die Errichtung eines qualitativen Düsenstrahlkörpers verlangt viele Kenntnisse und große Erfahrung. Die EN 12716:2001 (D) ergibt eine Liste mit Empfehlungen für Tätigkeiten bei Planung und Ausführung von Düsenstrahlarbeiten. Die angegebene Reihenfolge entspricht nicht unbedingt der zeitlichen Aueinanderfolge.

1. Festlegung des Umfanges der Baugrunduntersuchungen für die Ausführung von Düsenstrahlarbeiten.
2. Entscheidung über die Anwendung des Düsenstrahlverfahrens; soweit erforderlich Probeelemente auf der Baustelle und Vorversuche im Laboratorium, Erstellung der Ausschreibung.
3. Einholung aller für die Ausführung notwendigen Genehmigungen von Behörden und sonstigen Beteiligten
4. Generelle Planung für die Düsenstrahlkörper und Festlegung der geotechnischen Kategorie.

- 5.Überlegungen zum Bauablauf
- 6.Beurteilung der Ergebnisse der Baugrunduntersuchung, bezogen auf die Planungsannahmen
- 7.Beurteilung der baulichen Ausführbarkeit der Planung
- 8.Falls erforderlich, Ausführung von Düsenstrahlprobekörpern und relevanten Prüfungen
- 9.Auswertung der Ergebnisse von Probeelementen und Prüfungen
- 10.Auswahl des Düsenstrahlsystems
- 11.Prüfung der Eignung des Düsenstrahlsystems und Festlegung der Arbeitsabfolge
- 12.Bestimmung der Dimensionierung, Lage und Richtung der Düsenstrahlelemente
- 13.Falls erforderlich, Anweisungen zur Herstellungsabfolge
- 14.Festlegung der Herstellungsabfolge
- 15.Einweisung aller maßgeblichen Beteiligten in besonders wichtige Planungskriterien
- 16.Richtlinien für die Überwachung der Auswirkungen der Düsenstrahlarbeiten auf Bauwerke im Einflussbereich (Art und Genauigkeit der Geräte, Häufigkeit der Messung) und zur Auswertung der Ergebnisse
- 17.Festlegen zulässiger Grenzwerte aus den Auswirkungen der Düsenstrahlarbeiten auf die Bauwerke im Einflussbereich
- 18.Ausführung der Düsenstrahlarbeiten einschließlich Überwachung der Düsenstrahlparameter
- 19.Beaufsichtigung der Arbeiten einschließlich Festlegung der Qualitätsanforderungen
- 20.Beobachtung der Auswirkungen der Düsenstrahlarbeiten auf Bauwerke im Einflussbereich und Übergabe der Messergebnisse
- 21.Kontrolle der sachgemäßen Arbeitsdurchführung

Bei der Planung von Düsenstrahlarbeiten sollte sichergestellt werden, dass die Ansatzpunkte der Bohrlöcher über dem Grundwasserspiegel liegen. Überall dort, wo die Ansatzpunkte der Bohrlöcher unter dem Grundwasserspiegel oder unter dem Druckniveau von gespannten Wässern zu liegen kommen, müssen besondere Maßnahmen vorgesehen werden, um unkontrollierten Austrag von Düsenstrahlmaterial und Wasser zu verhindern. Im Rahmen der Planung sollten bauliche Schwierigkeiten berücksichtigt werden, durch die die Wirksamkeit des Düsenstrahlverfahrens beeinträchtigt werden können.

6.3.1 Ausführungsverfahren für Düsenstrahlsäulen

In der Regel umfasst die Ausführung folgende Arbeitsschritte:

- Herstellen eines Bohrlochs mit einer bestimmten Länge
- Einführung des mit dem Düsengestänge verbundenen Düsenträgers bis zur Bohrlochsohle. Dieser Arbeitsgang entfällt, wenn Gestänge und Düsenträger auch zum Bohren verwendet werden.

- Düsen mit der das Bodengefüge auflösenden und mit Zement verfestigten Flüssigkeiten unter gleichzeitigem Ziehen und Drehen des Gestänges mit vorher festgelegten Werten für Zieh- und Drehgeschwindigkeit, Pumpendruck und Durchflussrate für jede einzelne Flüssigkeit.

6.3.2 Ausführungsverfahren für Düsenstrahllamellen

Die einzelnen Arbeitsschritte entsprechen denen, die für die Düsenstrahlsäulen festgelegt wurden, mit dem Unterschied, dass das Gestänge beim Düsen herausgezogen, aber dabei nicht gedreht wird; es wird allenfalls über bestimmte Winkel verschwenkt. Die so hergestellte Lamelle liegt in einer Ebene, die die Bohrachse einschließt, oder sie wird durch zwei oder mehrere Abschnitte von Lamellen gebildet, die sich in der Bohrachse schneiden.

6.3.3 Andere Ausführungsverfahren

Bodenbedingt können auch andere Ausführungsverfahren zur Herstellung von Säulen und auch von Lamellen angewendet werden. Zu den anderen Verfahren gehört das häufig verwendete Vorschneiden. Eine andere Variante ist die Herstellung eines Elementes in mehreren aufeinander folgenden Schritten: zunächst wird das Element über eine vorbestimmte Länge vom Bohrlochmund aus hergestellt und das Aushärten abgewartet. Dann, nach einem Überbohren des behandelten Bodens, wird der Vorgang in einer tieferen Stufe wiederholt und so weiter geführt, bis die planmäßig vorgesehene Tiefe erreicht ist.

6.4 Hindernisse im Düsenstrahlverfahren - Auswirkungen auf Leistung und Kosten

6.4.1 Geotechnische Hindernisse

Das Düsenstrahlverfahren ist ein Spezialtiefbauverfahren, das auf der Grundlage der geotechnischen Eigenschaften des Untergrundes zu planen ist; daher ist eine sorgfältige Baugrunduntersuchung äußerst wichtig.

Folgende geotechnische Verhältnisse verlangen eine besondere Aufmerksamkeit:

- feste oder steife bindige Schichten oder Linsen
- hoher Gehalt organischer Bestandteile
- quellende Böden
- sensitive Tone (Quicktone)
- verkittete bzw. verfestigte Schichte oder Linsen
- Lage des Grundwasserspiegels
- das Vorhandensein von artesischem oder gespanntem Grundwasser
- hohes hydraulisches Gefälle
- aggressive Böden oder Wässer
- die Lagerungsdichte nichtbindiger Böden

- Steine und/oder Geschiebe, Blöcke
- große Hohlräume oder hohe Durchlässigkeit
- chemische Abfälle oder Ablagerungen

Diese Parameter haben in den vergangenen Jahren in einigen Fällen zu örtlichen Einschränkungen der Düsenstrahlsäulen, Mischungsdefekten, Düsenschatten, etc. und damit zu einer Einschränkung der Gebrauchstauglichkeit von unterirdischen Abdichtungskonstruktionen und zu entsprechenden Mehraufwendungen geführt.

Eins der größten Hindernisse in einem Düsenstrahlkörper ist die Anwesenheit von schwach zementierten Sandeinschlüssen (Fehlerstelle). Je nach Lage, Größe und Verteilung der Fehlerstellen sowie des Düsenstrahlmaterials mit ungünstigeren Materialeigenschaften kann dies zu örtlichen Überanspruchungen und zu einem Versagen der Gesamtkonstruktion führen.

Viele Schadensfälle haben gezeigt, dass die Nachweise gegen hydraulischen Grundbruch und die Sicherheit gegen Auftrieb von Düsenstrahlkörpern nicht ausreichen, um die Gebrauchstauglichkeit der Düsenstrahlkonstruktion zu garantieren. Beide Nachweise gehen in der Regel von homogenen Körpern mit konstanten Durchlässigkeitseigenschaften aus. Inhomogenitäten der Düsenstrahlkonstruktion und die Erosionsstabilität des Bodens und des Düsenstrahlkörpers werden bisher nicht berücksichtigt.

Eine innerhalb einer hochliegenden Düsenstrahlsohle durchgängige, mit Sand verfüllte Fehlerstelle bedeutet auch bei der Anwesenheit von ungünstigen Untergrundverhältnissen, wie fließgefährdeten, gleichförmigen Sanden noch nicht unbedingt einen sicheren Bodenaufbruch der Sohle. Bezüglich der Dicke der Düsenstrahlsohle, der Höhe der Sandauflage über der Düsenstrahlsohle und dem auf die Sohle wirkenden Wasserdruck wird eine kritische Größe für Fehlerstellen angegeben, bei deren Überschreitung Versagen eintritt.

Ein anderes Problem bei dem Düsenstrahlverfahren sind die Horizontalabweichungen aus der vertikalen Solllage. In der EN 12716:1999 wird empfohlen, für Bohrtiefen bis 20 m bei der Planung eine Abweichung aus der Solllage von 2% anzusetzen. Größere Abweichungen werden üblicherweise durch Blöcke, Steine oder Findlinge verursacht. Eine Überprüfung der tatsächlich aufgetretenen Abweichungen aus der Solllage ist praktisch nur durch eine Vermessung möglich.

Ein wichtiges Qualitätsmerkmal ist die Homogenität der fertigen Elemente. Sie wird behindert durch vorgegebene Inhomogenitäten des Baugrundes, z.B. Schichtung, und durch das gewählte Herstellungsverfahren. Es ist in der Praxis unmöglich, das Verfahren in allen Einzelheiten so zu variieren, dass eine perfekte Anpassung an die vielfältigen Gegebenheiten des Baugrundes erreicht wird. Bei einem Schichtwechsel von sandigem

Kies zu tonigem Schluff verhalten sich die Elementvolumina nahezu wie 3 zu 1, was auch zu einem Festigkeitsunterschied führt.

Eine andere Quelle von Inhomogenitäten sind eingelagerte Steine über etwa 60 mm Seitenlänge. An der dem Schneidstrahl abgewandten Seite entsteht ein „Strahlschatten“, in dessen Bereich der Löse- und der Vermörtelungsvorgang behindert werden. Dieser unerwünschte Effekt ist besonders ausgeprägt bei der Herstellung von Wandelementen ohne Rotation der Düsen.

Der Einfluss der schlechten Baugrundverhältnissen auf die Herstellungskosten einer Düsenstrahlsohle oder Düsenstrahlwand ist wie folgt:

Bodenart	optimale Verhältnisse	schlechte Verhältnisse
grobkörniger Boden	250 EUR/m ³	500 EUR/m ³
feinkörniger Boden	400 EUR/m ³	750 EUR/m ³

Tabelle 8 : Herstellungskosten einer Düsenstrahlsohle oder Düsenstrahlwand [13]

Schlechte Baugrundverhältnisse beeinträchtigen nicht nur die Leistung, sondern können auch ein Versagen der Konstruktion, was unbedingt vermieden muss, verursachen.

Die Tagesleistung einer Kolonne beträgt zwischen 15 bis 45 m³ pro Tag, das entspricht ca. einer 30 m Säule pro Tag. Bei mittleren und kleineren Baustellen wird aber dieser Wert auf maximal 25 m Säule je Tag verringert.

7 Zusammenfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit den wichtigsten Hindernissen im Spezialtiefbau, deren Beseitigungsmaßnahmen und ihren Auswirkungen auf die Leistung und Kosten. Die Daten haben in Erfahrung gebracht, dass die meisten Schwierigkeiten bei den Spezialtiefbauarbeiten mit den spezifischen Untergrundverhältnissen und Bodenbeschaffenheiten verbunden sind. Ihre Bekämpfung verlangt große Erfahrung der Fachleute und besondere Maßnahmen und Tätigkeiten.

Bei dem Schlitzwandverfahren sind grundsätzlich drei Arten von Hindernissen zu unterscheiden – vorhandene Kanäle und Leitungen, antropogene Hindernisse und Baureste, Findlinge und natürliche Hindernisse. Eines der größten Probleme bei dem Bau der Schlitzwände sind die vorhandenen Kanäle und Leitungen. Diejenigen, die die Schlitzwandtrasse kreuzen, müssen unbedingt während der Bauzeit umgeleitet werden. Zur Beseitigung solcher Probleme kommen verschiedene Methoden zum Einsatz, die sich in der Regel von dem üblichen Schlitzwandherstellungsverfahren unterscheiden und aufwendiger sind. Die Bewältigung von antropogenen Hindernissen und Bauresten ist auch erheblich teurer und leistungsbehindernder. Es kann nicht genau ermittelt werden, wie viel an Zusatzkosten entstehen würden und wie stark die Leistung behindert würde. Es ist immer von den Baustellenverhältnissen abhängig, aber in den meisten Fällen ist der Zusatzaufwand mehr als 10000 Euro und die Verzögerung in der Größenordnung von einigen Tagen.

Bei der Herstellung von Pfählen muss man eine Reihe von Faktoren beachten, die den Errichtungsprozess erheblich stören und kostspielige Maßnahmen verlangen. Die Probleme bei der Pfahlerrichtung sind verschiedener Herkunft – Untergrund, Baustoffe, Geräte, Bauausführung, Mensch. Bei den Pfählen sind auch dieselben Hindernisse, wie bei den Schlitzwänden, zu treffen. Obwohl das Hestellungsprozess eines Pfahles von großer Aufmerksamkeit der Fachleute begleitet wird, kommt es manchmal zu Schadensfälle. Mannigfaltige Untersuchungen stellen fest, dass Fehler bei der Voruntersuchung, Planung und Kommunikation die Grundlage der Bauschäden bilden.

Die Spundwände sind seit über 100 Jahren als Baugrubenverbaumittel bekannt. Der Einsatz von Stahlspundwänden ist oft bei vielen Bauaufgaben die einzige mögliche Entscheidung. Die meist zu treffende Schwierigkeiten beim Rammen von Spundbohlen können folgenden Arten sein – Voreilen der Bohlen, „Aus dem Schloss springen“, Nacheilen der Bohlen, Neigen der Bohlen senkrecht zur Rammrichtung, Deformieren der Spundbohlenköpfen und Mitziehen der Nachbarbohlen. Wie bei allen anderen Spezialtiefbauverfahren, ist die Bewältigung solcher Hindernisse sehr kostspielig, verlangt spezielle Einrichtungen und Tätigkeiten und behindert die Leistung.

Das Injektionsverfahren wurde zum ersten Mal im Jahr 1876 benutzt, als Zementinjektionen zu Abdichtung von Klüften und Spalten im Felsuntergrund einer Talsperre ausgeführt wurden. Bei den herkömmlichen Injektionstechniken werden Drücke in der Größenordnung von 20 bar verwendet. Im Gegensatz dazu, wird bei der Düsenstrahltechnik die Bodenstruktur durch einen Düsenstrahl mit Pumpendrücken von 100 bis 800 bar aufgelöst

Die Hindernisse bei der Ausführung von Injektionen im Baugrund und bei dem Düsenstrahlverfahren sind verschiedenartig und die Gegenmaßnahmen sind besonders aufwendig. Meistens sind sie mit dem Baugrundverhältnissen verbunden. Die Kosten bei dem Düsenstrahlverfahren liegen in der Größenordnung von 150-800 Euro pro m³. Deshalb ist es besonders wichtig, dass alle möglichen Betriebsbeeinträchtigungen erkannt und rechtzeitig entgegengewirkt wird.

Quellenverzeichnis

- [1]. BGL, Bauverlag, 2007
- [2]. BUJA, Heinrich-Otto: Spezialtiefbau-Praxis von A-Z, 1. Auflage – Berlin : Bauwerk, 2002
- [3]. BUJA, Heinrich-Otto: Handbuch des Spezialtiefbaus, 1.Auflage – Düsseldorf : Werner, 1998
- [4]. Christian-Veder-Kolloquium <17, 2002, Graz > : Injektionen in Boden und Fels, Graz : Technische Universität, 2002
- [5]. EICHER, Klaus : Spezialtiefbau , Ausgabe 2 – Renningen : expert – Verlag, 2002
- [6]. HUDELMAIER, Klaus F. : Spezialtiefbau : 1. Auflage, 2008
- [7]. HÜSTLER, Felix : Leistungsberechnung der Baumaschinen, Ausgabe 3 – Düsseldorf : Werner, 1997
- [8]. <http://de.wiktionary.org>
- [9]. <http://de.wikipedia.org>
- [10]. Institut für Bodenmechanik und Grundbau-Graz : Düsenstrahlverfahren, Graz : Technische Universität, 2000
- [11]. JODL, Hans Georg : Bauverfahren im Tiefbau, Wien : 2007
- [12]. KUTZNER, Christian : Injektionen im Baugrund, Stuttgart : Enke, 1991
- [13]. MAYBAUM, Georg : Verfahrenstechnik und Baubetrieb im Grund - und Spezialtiefbaus, 1.Auflage – Wiesbaden : Vieweg + Teubner, 2009
- [14]. SCHNELL, Wolfgang : Verfahrenstechnik der Baugrundverbesserungen, Stuttgart : Teubner, 1997
- [15]. SCHNELL, Wolfgang : Verfahrenstechnik der Baugrundverbesserungen, Stuttgart : Teubner, 1995
- [16]. SEITZ, Jörn M. : Bohrpfähle, Berlin : Ernst & Sohn, 2000
- [17]. TRIANTAFYLLIDIS, Theodoros : Planung und Bauausführung im Spezialtiefbau: Ernst & Sohn, 2004
- [18]. www.spezialtiefbau.bilfingerberger.de

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1 Schlitzwandelemente	2
Abb. 2 Anwendungsbeispiele für Schlitzwände	3
Abb. 3 Leitwand in einem nicht standfestem Boden hergestellt mit einer doppelten Schalung	6
Abb. 4 Arbeitsablauf beim Herstellen einer mit der Fräse ausgeführten gegriffenen Schlitzwand	9
Abb. 5 Arbeitslauf beim Herstellen einer Schlitzwand mittels Geiferverfahren	10
Abb. 6 Aussteifung eines Schlitzwand-Bewehrungskorbes	12
Abb. 7 Betonierrohre (Schüttrohre) in Betoniergassen	13
Abb. 8 Kontraktorverfahren mit dem Betonierball	14
Abb. 9 a) Holzverbau – oder Injektionswand im Bereich von breiten Leitungstrassen	17
Abb. 10 Untergreifen eines Kanalstanges	18
Abb. 11 : Untergreifen eines breiten Stranges von Kanälen und Leitungen mit	19
Abb. 12 Aushub.....	20
Abb. 13 Antreffen eines alten Hausanschlusses mit Verlust des Stützsuspensionspiegels .	22
Abb. 14 Verdämmung eines Abflussrohres mit Hilfe eines Verbaues und einer Sohlinjektion	22
Abb. 15 Behandlung hineinragenden Fundamente im Schlitz	24
Abb. 16 Lageplan der Schlitzwand im Bereich des Mauerwerkrestes	25
Abb. 17 Schnitt 1 – 1	25
Abb. 18 Mögliche Folgen einer nicht ausreichender Hindernissbeseitigung.....	32
Abb. 19 Gefahr des Verkeilens des Greifers bei gelösten Teilfeindling im Schlitz.....	33
Abb. 20 Methode zur Beseitigung von Feindlingen unterhalb des GW	34
Abb. 21 Ortbeton-Rammpfahl System Franki.....	38
Abb. 22 Rammverpreßpfahl MV,Pfahlausbildung.....	39
Abb. 23 Schraubbohrpfahl System Atlas.....	40
Abb. 24 Schraubbohrpfahl System FUNDEX	40
Abb. 25 Entwicklung der Großdrehbohrgeräte	41
Abb. 26 Methoden zur Sicherung der Bohrlochwand	42
Abb. 27 Bohrverfahren mit durchgehender Bohrschnecke.Der Antrieb erfolgt über.....	43
Abb. 28 Werkzeuge für diskontinuierlichen Aushub	44
Abb. 29 Mikropfahl System „GEWI“.....	46
Abb. 30 Ausführungsarten von Bohrfahlwänden	48
Abb. 31 Bohrschablonen für Pfahlwände	49
Abb. 32 Aufgelöste Pfahlwand mit Spritzbetonschale zwischen den Pfählen	49
Abb. 33 Tangierende Bohrfahlwand.....	50

Abb. 34	Überschnittene Bohrpfahlwand	50
Abb. 35	Überschnittene Bohrpfahlwand	51
Abb. 36	Verteilung der Bauschäden nach Schadensursachen	52
Abb. 37	Schematischer Schnitt durch einen Pfahlfuß. Die abgerundete	55
Abb. 38	Fehler im Querschnitt eines Pfahlschfates.....	56
Abb. 39	Schlechte Zentrierung eines Bewehrungskorbes am Pfahlkopf	56
Abb. 40	Lageplan der Baugrube	58
Abb. 41	Detail „A“	58
Abb. 42	Grundriss einer Spundwandbaugrube.....	68
Abb. 43	Spundwandprofile	70
Abb. 44	Anbauvarianten für Einpreßgeräte	72
Abb. 45	System der Spülung und Lanzenformen	74
Abb. 46	Außermittige Krafteinleitung	76
Abb. 47	Gestaffeltes Rammen	76
Abb. 48	Nachteile der Spundwände und Gegenmaßnahmen	78
Abb. 49	Abweichung von der Senkrechten und Gegenmaßnahmen	78
Abb. 50	Maßnahmen gegen das Mitziehen der Nachbarbohlen.....	80
Abb. 51	Grundriss der Baugrube	81
Abb. 52	Schnitt A - A	82
Abb. 53	Zementskelett einer Injektion	87
Abb. 54	Anwendungsbeispiele für Injektionen	88
Abb. 55	Bodenabhängige Anwendungsgrenzen für die Injektionsverfahren	89
Abb. 56	Arbeitsschema bei der Injektion	91
Abb. 57	System des Manschettenrohres.....	92
Abb. 58	Herstellungsphasen: Bohren und Injizieren.....	93
Abb. 59	Lageplan des Staudammes	98
Abb. 60	Arbeitsschritte beim Injektionsverfahren	99
Abb. 61	Hochdruckdüse	105
Abb. 62	Anwendungsmöglichkeiten des Düsenstrahlverfahrens.....	106
Abb. 63	Düsenstrahlkörper und Anordnungsmöglichkeiten.....	106
Abb. 64	Arbeitsschritte beim Soilcrete-Verfahren	107
Abb. 65	Soilcrete-Düsenstrahltechniken S,D und T.....	108
Abb. 66	Phasen des HDI-Verfahrens	109
Abb. 67	Verfahrensvarianten IZ (links) und 3LZ (rechts)	109
Abb. 68	Verfahrensvarianten 3WZ (links) und 3WLZ (rechts).....	110
Tabelle 1:	Übliche Abmessungen einzelner Schlitzwandlamellen	2

Tabelle 2 : Richtwerte für die Leistung des Düsenstrahlverfahrens..... 16

Tabelle 3 : Richtwerte für die Kosten des Düsenstrahlverfahrens 16

Tabelle 4: Verwendungsumfang der unterschiedlichen Pfahltypen in den europäischen Staaten 36

Tabelle 5 Zeitplan für die Herstellung der Injektionskörper im Regelfall 101

Tabelle 6 Zeitplan für die Herstellung der Injektionskörper im Sonderfall 103

Tabelle 7 Ergebnisse aus der Beispielkalkulation..... 104

Tabelle 8 : Herstellungskosten einer Düsenstrahlsohle oder Düsenstrahlwand 114