
Bericht Nr. 1518061.1

Auswirkungen auf das Grundwasser durch Bauverfahren im Grund- und Spezialtiefbau

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Zollikofen, 31. Januar 2019

GEOTEST AG
BERNSTRASSE 165
CH-3052 ZOLLIKOFEN
T +41 (0)31 910 01 01
F +41 (0)31 910 01 00
zollikofen@geotest.ch
www.geotest.ch

Autor(en)	Bearbeitete Themen / Fachbereiche
Frederik Tigges	Gesamter Bericht
Supervision	Visierte Inhalte
Andreas Waldmann	Gesamter Bericht
Oliver Hübner	Gesamter Bericht
Hinweise	
<p>Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Wasser, CH-3003 Bern. Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK). Dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.</p>	

GEOTEST AG



Andreas Waldmann



Frederik Tigges

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung.....	5
2.	Sondierungen.....	8
2.1	Kernbohrungen (Sondierbohrungen)	8
2.2	Bohrungen ohne Kern (destruktive Bohrungen)	9
2.3	Baggerschlitze.....	10
2.4	Rammkernsondierungen.....	11
2.5	Rammsondierungen.....	12
2.6	Ausbau von Sondierungen.....	13
2.7	Sonstige Sondierungen.....	15
3.	Wasserhaltungen	16
3.1	Pumpensümpfe/ Sickergräben.....	16
3.2	Vakuumverfahren.....	17
3.3	Filterbunnen	18
4.	Baugrubenabschlüsse / Hangsicherungen	19
4.1	Nagelwände	19
4.2	Spundwände	20
4.3	Rühlwand / Trägerbohlwand	21
4.4	Bohrpfahlwände	22
4.5	Schlitzwände	24
4.6	Sickerbetonauflagen	25
4.7	Verankerungen.....	26
4.7.1	Vorgespannte Anker	26
4.7.2	Ungespannte Anker	28
4.7.3	Jettinganker.....	29
5.	Flachfundationen.....	30
6.	Pfahlfundationen	31
6.1	Rammpfähle (u.a. Fertigteilpfähle, Verdrängungspfähle, etc.)	31
6.2	Injektionsrammpfähle (u.a. duktiler Gussrammpfahl)	32
6.3	Selbstbohrpfähle	34
6.4	Bohrpfähle	35
7.	Ersatzmassnahmen	36
7.1	Materialersatz, Magerbetontatzen	36
8.	Baugrundverbesserung.....	38
8.1	Kunsthazinjektionen.....	38

8.2	Tiefreichende Bodenvermörtelungen (Soil mixing).....	39
8.3	Rüttelstopfverdichtung	41
8.4	Rütteldruckverdichtung	42
8.5	Grossflächige Verdichtung / Impulsverdichtung	43
8.6	Hochdruckinjektionen / Jetting	44
8.7	Niederdruckinjektionen	46
9.	Grabenlose Vortriebe	47
9.1	Horizontalspülbohrverfahren	47
9.2	Pressrohrvortrieb.....	49
9.3	Microtunneling.....	50
10.	Sonstiges.....	51
10.1	Weichgelinjektionskörper	51
11.	Alternative zu Gewebesäcken	52
12.	Zusatzstoffe.....	53
13.	Schlussbemerkungen.....	53

Anhang

Tabelle Bauverfahren im Grundwasser	1
-------------------------------------	---

1. Einleitung

Die Wegleitung Grundwasserschutz des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) ist im Jahr 2004 erschienen und basiert auf dem Gewässerschutzgesetz (GSchG) und der Gewässerschutzverordnung (GSchV).

Das Bundesamt für Umwelt plant ab 2019 die Wegleitung Gewässerschutz neu herauszugeben. Unter anderem soll die nicht mehr aktuelle „Referenztabelle Baustellen“ überarbeitet werden, welche Baustellentätigkeiten in Bezug auf Ihre Grundwassergefährdung dem Grunde nach beurteilt.

Unter Grundwassergefährdung wird sowohl eine chemische als auch eine physikalische Beeinflussung verstanden. Zudem sollen auch die Durchlässigkeit des grundwasserführenden Bodens und die Kommunikation zwischen verschiedenen Grundwasserträgern so wenig wie möglich durch Bauverfahren beeinträchtigt werden.

Die im Grundwasser eingesetzten – in der Schweiz gängigen - Bauverfahren sollen mit vorliegendem Bericht beschrieben werden. Die grosse Anzahl der teils minimal divergierenden – oft Unternehmerabhängigen - Bauverfahren wurde zweckmässig zusammengefasst.

Es wurden je Bauverfahren die folgenden Stichpunkte bearbeitet:

- Zweck des Verfahrens
- Kurzbeschreibung und Visualisierung
- Eingesetzte und verbleibende Baustoffe
- Verwendete Injektionsdrücke
- Chemische und physikalische Ein- resp. Auswirkungen
- Alternative Bauverfahren
- Eingriffsdauer

Bei den physikalischen resp. physischen Einwirkungen auf das Grundwasser können grundsätzlich folgende Fällen unterschieden werden:

Einwirkung	Physikalische Einwirkung
Durchlässigkeitsveränderung	Infolge von Verdichtung / Verdrängung durch die Erstellung eines Baukörpers im Untergrund verringert oder erhöht sich die Durchlässigkeit (u.a. Porenvolumen) des anstehenden Untergrundmaterials.
Durchflussveränderung	Durch den Einbau von Baukörpern im Untergrund verringert oder erhöht sich die Durchflusskapazität eines Grundwasseraquifers.
Veränderung der Grundwasserströmung	Durch den Einbau und die Erstellung von Baukörpern im Untergrund verändert sich mit der Durchlässigkeit und des Durchflusses auch die (lokale) Grundwasserströmung.
Bildung neuer Fließwege	Durch Einbau oder Rückbau von Bauwerken im Grundwasser werden neue Fließwege geschaffen. Eventuell ist es möglich, dass zwei Grundwasserleiter miteinander verbunden werden.

Bei den chemischen Einwirkungen auf das Grundwasser wird zwischen den folgenden Fällen unterschieden:

Einwirkung	Chemische / Stoffliche Einwirkung
Keine Einwirkung / Emission	Bauteile, die in einem chemisch stabilen Zustand (z.B. voll abgebundener Beton) in den Untergrund eingebracht werden und somit bei Kontakt mit Grundwasser keine weiteren Reaktionen bewirken.
Geringe Emission	Bauteile, die in einem nahezu chemisch stabilen Zustand (z.B. noch nicht zu 100% abgebundener Ortbeton) in den Untergrund eingebracht werden und somit bei Kontakt mit Grundwasser so gut wie keine weiteren Reaktionen bewirken.

Emission ins Grundwasser	<p>Bauverfahren, welche aufgrund chemischer Reaktionen (z. B. Aushärten Zementleim / Silikate / Harze) zu Emissionen ins Grundwasser führen können:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Abbindevorgang bei Beton / Zement mit Erhöhung des pH-Wertes des umliegenden Grundwassers - Zusätzliche Reaktionen aufgrund von verwendeten Zusatzstoffen (u.a. Verflüssiger, Beschleuniger, etc.) - Auswaschungen auf lange Sicht - Korrosion von Bauteilen aus Stahl mit unzureichendem (z.B. bei lückenhafter Zementummantelung oder nicht vorhandenen Korrosionsschutz
Unkontrollierte Ausbreitung (Feststofftransport mit dem Grundwasser)	Bauverfahren, bei welchen Stoffe mit hohem Druck in den Untergrund eingebracht werden.

Es werden im vorliegenden Bericht **nur die aus Sicht des Grundwasserschutzes relevanten und dauerhaften** chemischen und physikalischen **Veränderungen ausgewiesen**.

Ergänzt wird vorliegender Bericht um eine Kurzeinschätzung zum Thema Gewebesäcke bei Pfählen und Ankern sowie eine kurze technische Zusammenfassung von im relevanten Zuschlagsstoffen bei Injektionen im Grundwasser.

Im Anhang werden alle hier dargestellten Bauverfahren hinsichtlich oben genannter Kriterien zusammengefasst.

2. Sondierungen

2.1 Kernbohrungen (Sondierbohrungen)

Zweck: Erkundung detaillierter Schichtaufbau, Einbauten für Messungen (Piezometer, Inklinometer, etc.), Bohrlochversuche (SPT¹, Drehflügel, etc.), Probennahme

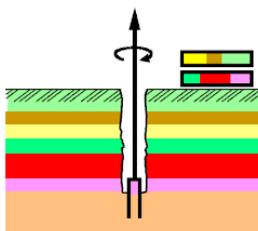
Beschrieb:

Kernbohrungen sind ein direkter Baugrundaufschluss und werden häufig für eine geotechnische, hydrogeologische oder umwelttechnische Erkundung des Untergrundes durchgeführt.

Die Bohrung wird mittels eines Kernrohrs durchgeführt, welches den Bohrkern während des Bohrvorgangs aufnimmt. Das Bohrloch wird während der Ausführung der Bohrung durch die Verrohrung des Kernrohrs gestützt. Der Bohrkern wird mit dem Kernrohr aus dem Bohrloch gezogen und kann an der Oberfläche ausgebaut werden.

Anhand des Bohrkerns und des Bohrwiderstandes können die Beschaffenheit des Untergrundes und die Tiefenlage der einzelnen Untergrundschichten bestimmt werden. Ausserdem können Proben (u.a. zur Durchführung von Laborversuchen) aus dem Bohrkern entnommen werden. Nach Beendigung der Bohrarbeiten wird das Bohrloch entweder mit Bodenmaterial verfüllt oder mit Einbauten ausgebaut.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Wasser (im Fels)

Verbleibende Baustoffe Je nach Ausbau (vgl. Kapitel 2.6)

Injektionsdrücke: -

¹ Standard Penetration Test: Genormtes Verfahren zur Ermittlung der Lagerungsdichte des Untergrundes. Eine Sonde

Physikalische Einwirkung:	Neue Fließwege (je nach Ausbau)
Chemische Einwirkung:	-
Alternative(n):	Rammkernsondierungen (bis ca. 10 m im Lockermaterial)
Eingriffsdauer:	Eingriff temporär, Ausbauten temporär oder permanent

2.2 Bohrungen ohne Kern (destruktive Bohrungen)

Zweck: Erkundung grober Schichtaufbau, Einbauten für Messungen

Beschrieb:

Wenn Bohrgut nicht als zusammenhängender Kern zu Tage gefördert wird, spricht man von einer sogenannten „destruktiven Bohrung“.

Je nach Bohrverfahren (verrohrt / unverrohrt, u.a. abhängig vom anstehenden Untergrund & Erkundungsziel) wird das Bohrgut mittels Druckluft, Spülung (i. d. R. Wasser) oder auch auf mechanischem Wege (z. B. Bohrschnecken) gefördert. Anhand dieses Rückflusses kann grob eine Beurteilung des anstehenden Untergrundes (z. B. Unterscheidung Lockergestein / Fels) erfolgen.

Nach Beendigung der Bohrarbeiten wird das Bohrloch wieder mit Bodenmaterial verfüllt oder mit Einbauten ausgebaut.

Visualisierung:	-
Eingesetzte Baustoffe:	Wasser (im Fels)
Verbleibende Baustoffe	Je nach Ausbau (vgl. Kapitel 2.6)
Injektionsdrücke:	-
Physikalische Einwirkung:	Neue Fließwege (je nach Ausbau)
Chemische Einwirkung:	-
Alternative(n):	Rammkernsondierungen (bis ca. 10 m im Lockermaterial), Kernbohrungen
Eingriffsdauer:	Eingriff temporär, Ausbauten temporär oder permanent

2.3 Baggerschlitze

Zweck: Erkundung detaillierter Schichtaufbau, Versickerungseignung

Beschrieb:

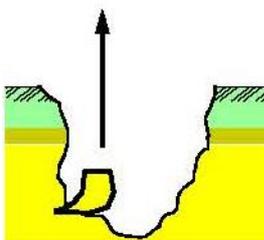
Baggerschlitze dienen der Erkundung des Untergrundes zu geotechnischen, umwelttechnischen oder bodenkundlichen Zwecken.

Mit einem Bagger wird ein bis zu mehrere Meter tiefer Schlitz ausgehoben. Im Normalfall ist der Schlitz wenig breiter als der verwendete Baggerlöffel und zwei bis drei Meter lang. Das geförderte Material kann geologisch-geotechnisch und organoleptisch beurteilt, sowie beprobt werden.

Anhand des geförderten Materials (Zusammensetzung, Wassergehalt, etc.) sowie der Standfestigkeit mit einem allf. erkennbaren Schichtverlauf der Wände des Schlitzes können Materialeigenschaften und Schichtabfolge beurteilt werden. Je nach Jahreszeit und Witterungsverhältnissen, lassen sich ggf. untief anstehende Grund- und Hangwasserspiegel feststellen. Zudem ist die Durchführung von Versickerungsversuchen in dem ausgehobenen Baggerschlitz möglich.

Nach Beendigung der Aufnahmen werden Baggerschlitze wieder mit dem geförderten Material verfüllt.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe:	-
Verbleibende Baustoffe	-
Injektionsdrücke:	-
Physikalische Einwirkung:	Evt. neue Fließwege
Chemische Einwirkung:	-
Alternative(n):	Kernbohrungen, Rammkernsondierungen
Eingriffsdauer:	temporär

2.4 Rammkernsondierungen

Zweck: Erkundung des Schichtaufbaus des Untergrundes, Probenahme

Beschrieb:

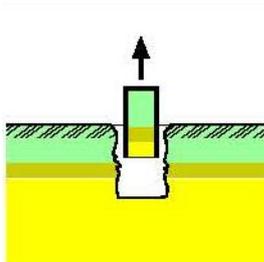
Rammkernsondierungen dienen der Untergrunderkundung und Probenahme v.a. in feinkörnigen Böden.

Bei dem Verfahren wird eine geschlitzte, hohle Sonde (Rammkern) mit einem Durchmesser von bis zu 10 cm in den Boden geschlagen oder vibriert. Dabei füllt sich der Rammkern mit dem anstehenden Untergrundmaterial. Anschliessend wird der Rammkern mitsamt dem aufgenommenen Material herausgezogen. Im herausgezogenen Rammkern ist der Schichtaufbau des Untergrundes sichtbar. Zudem ist eine Materialprobenentnahme möglich.

Die Sonde kann an einem Bohrgestänge befestigt werden, sodass grössere Sondiertiefen erreicht werden können. Rammkernsondierungen werden in der Regel bis in eine Tiefe von ca. 10 m durchgeführt. Die erreichbare Tiefe ist jedoch abhängig von den Untergrundverhältnissen.

Nach Beendigung der Bohrarbeiten wird das Bohrloch wieder mit Bodenmaterial verfüllt.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe:	-
Verbleibende Baustoffe	-
Injektionsdrücke:	-
Physikalische Einwirkung:	Evt. neue Fliesswege
Chemische Einwirkung:	-
Alternative(n):	Bohrungen
Eingriffsdauer:	Temporär

2.5 Rammsondierungen

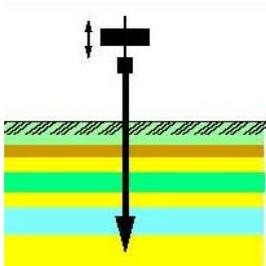
Zweck: Erkundung von Schichtgrenzen und Lagerungsdichte, Einbauten für Messungen

Beschrieb:

Bei der Durchführung von Rammsondierungen wird ein Stahlgestänge mit definierter Stahlspitze mittels eines definierten Fallgewichtes in den Boden gerammt. Anhand der Eindringtiefe in Abhängigkeit der erforderlichen Schlagzahlen kann die Tiefenlage von unterschiedlichen Untergrundschichten beurteilt und die Lagerungsdichte abgeschätzt werden.

Nach Erreichen der Zieltiefe wird das Bohrgestänge wieder aus dem Untergrund gezogen. Aufgrund des geringen Durchmessers des Rammgestänges wird das Bohrloch, sofern kein Ausbau vorgesehen ist, nicht wieder verfüllt.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: -

Verbleibende Baustoffe Je nach Ausbau (vgl. Kapitel 2.6)

Injektionsdrücke: -

Physikalische Einwirkung: Neue Fließwege (je nach Ausbau)

Chemische Einwirkung: -

Alternative(n): Kernbohrungen, Baggerschlitz

Eingriffsdauer: Temporär

2.6 Ausbau von Sondierungen

Zweck: u.a. Messungen von Verformungen im Untergrund, Messung von
Wasserspiegeln, Pumpversuche

Beschrieb:

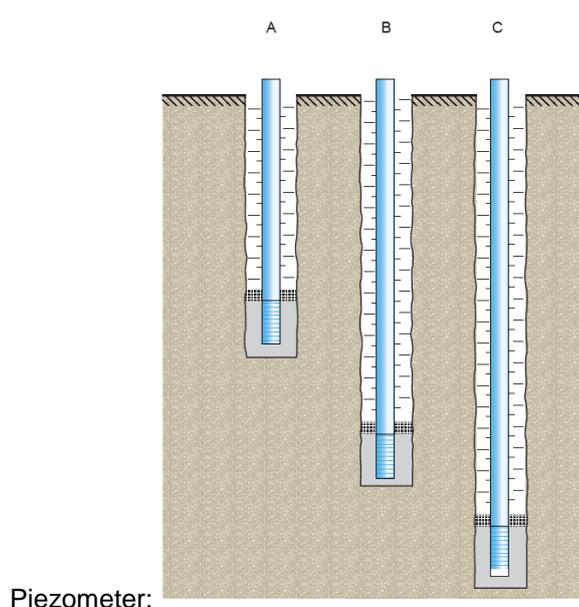
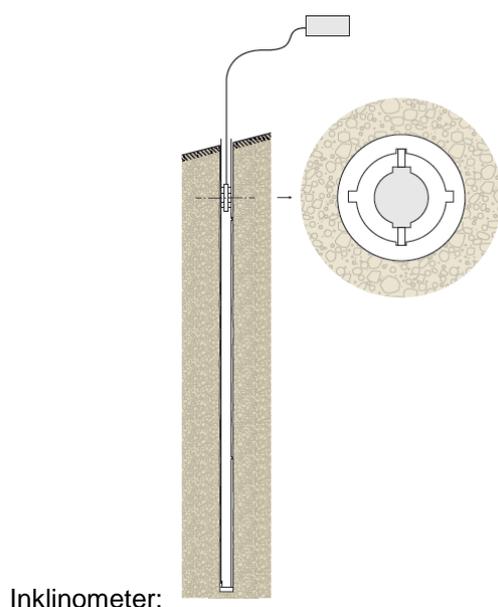
Bohr- und Rammlöcher, welche für Sondierungen erstellt werden, können mit weiteren messtechnischen Einrichtungen ausgebaut werden.

Verschiebungsmessungen: z.B. Inklinometer, Inkrementalextensometer; das Messrohr für Verschiebungsmessungen wird mit Zement im Bohrloch fixiert.

Wasserspiegel: Piezometer; Das Versetzen von Piezometerrohren erfolgt bei Rammsondierungen ohne den Einbau von zusätzliche Materialien. Bei Bohrungen muss i. d. R. der Ringraum zwischen dem Messrohr und dem Bohrloch verfüllt werden. Im Bereich der gelochten / geschlitzten Messstrecke wird der Ringraum meist mit durchlässigen Material, im Bereich des Vollrohres mit einer Zementsuspension verfüllt.

Brunnen / Pumpversuche: Bei Piezometern mit grossen Durchmessern können Pumpversuche durchgeführt werden. In diesem Fall spricht man von (Pump-)Brunnen. Mit Hilfe der Pumpversuche lässt sich neben Durchlässigkeit des Untergrundes zum Beispiel auch die für eine Grundwasserwärmenutzung maximal nutzbare Wassermenge bestimmen.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe:	Je nach Ausbau: Stahl, Kunststoff, Zement / Bentonit
Verbleibende Baustoffe	Je nach Ausbau: Stahl, Kunststoff, Zement / Bentonit
Injektionsdrücke:	Drucklos
Physikalische Einwirkung:	i. d. R. keine Einwirkungen
Chemische Einwirkung:	Bei Erstellung Emission ins Grundwasser möglich
Alternative(n):	-
Eingriffsdauer:	Temporär

2.7 Sonstige Sondierungen

Es existieren noch weitere Sondiermethoden, welche jedoch keine Einbauten in das Grundwasser zulassen und daher hier nur kurz beschrieben werden:

Drucksondierungen (CPTU, CPT)

Mit einem Gestänge wird eine zylindrische Sonde mit definierter Geschwindigkeit in den (ungestörten) Untergrund eingepresst. Dabei wird an der kegelförmigen Spitze der Spitzenwiderstand und an einer oberhalb der Spitze gelegenen Reibungshülse die lokale Mantelreibung gemessen. Neben diesen bodenmechanischen Messwerten wird ergänzend die Abweichung der Spitze von der Lotrechten und die Eindringgeschwindigkeit der Sonde aufgezeichnet. Mit der sogenannten Piezo-Spitze kann zusätzlich der Porenwasserdruck an oder im Bereich der Sondenspitze gemessen werden (CPTU).

Nach Beendigung der Sondierungen wird die Sonde mit Gestänge wieder aus dem Untergrund gezogen. Aufgrund des geringen Sondendurchmessers wird das Sondierloch nicht wieder verfüllt.

Flachdilatometer

Bei einem Flachdilatometer wird die Messsonde stufenweise in den Untergrund (z. T. am Boden eines Bohrlochs) gepresst. In der Sonde befindet sich eine druckempfindliche Membran. Über den während dem Vortrieb gemessenen Druck in der Membran sind Rückschlüsse auf die Untergrundverhältnisse möglich.

Nach Beendigung der Sondierungen wird die Sonde mit Gestänge wieder aus dem Untergrund gezogen. Aufgrund des geringen Sondendurchmessers wird das Bohrloch i. d. R. nicht wieder verfüllt. Findet die Sondierung im Bohrloch statt, hängt die Verfüllung vom jeweiligen Ausbau des Bohrlochs ab (vgl. Kap. 2.6)

Drehflügel

In bindigen Böden kann u.a. der Scherwiderstand einer Untergrundsicht mittels einer Drehflügelsonde bestimmt werden. Hierfür wird die Sonde in den Untergrund gedrückt (z. T. innerhalb eines Bohrlochs) und das erforderliche Drehmoment bis zum Bruch des Bodens gemessen.

Nach Beendigung der Sondierung wird die Sonde wieder aus dem Untergrund gezogen. Aufgrund des geringen Sondendurchmessers wird das Sondierloch i. d. R. nicht wieder verfüllt. Findet die Sondierung im Bohrloch statt, hängt die Verfüllung vom jeweiligen Ausbau des Bohrlochs ab (vgl. Kap. 2.6)

3. Wasserhaltungen

3.1 Pumpensümpfe/ Sickergräben

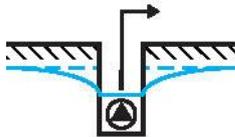
Zweck: Entwässerung von Baugruben, Restwasserhaltung (Niederschlag)

Beschrieb:

Pumpensümpfe und Sickergräben sind offene Wasserhaltungen und dienen der Entwässerung von Baugruben. Das durch Niederschläge auf der Baugrubensohle anfallende Wasser, sowie anfallendes Hang- resp. Schichtwasser, wird in mit Kies gefüllten Gräben (Drainagegräben) bzw. Pumpensümpfen angesammelt und von dort abgeleitet bzw. abgepumpt.

Nach Beendigung der Wasserhaltung wird das Material i. d. R. wieder aus dem Untergrund entfernt.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe:	Sickerkies
Verbleibende Baustoffe	ggf. Sickerkies
Injektionsdrücke:	-
Physikalische Einwirkung:	Veränderung der Grundwasserströmung, Neue Fließwege wenn kein Rückbau erfolgt
Chemische Einwirkung:	-
Alternative(n):	Geschlossene Wasserhaltung, Filterbrunnen
Eingriffsdauer:	Temporär; ohne Rückbau: permanent

3.2 Vakuumverfahren

Zweck: Grundwasserabsenkung & Fassen von Hang- & Schichtwässern
(u. a. zur Böschungstabilisierung) in feinkörnigen Böden

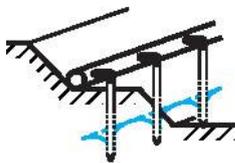
Beschrieb:

Wellpoint-Filter sind kleine Vakuum-Brunnen (Wellpointpflanzen, Ø ca. 200 mm). Diese werden in den Untergrund eingespült oder gebohrt und mit einer Saugleitung verbunden. Über eine Vakuumpumpe wird das Wasser im Untergrund mit Unterdruck aus dem Boden gesaugt. Angewendet wird das Verfahren in feinkörnigen Böden. Die Reichweite ist relativ gering (wenige Meter).

Mit Hilfe dieses Verfahren kann auch die Standsicherheit von feinkörnigen Baugrubenböschungen erhöht werden.

Nach Beendigung der Wasserhaltung werden die Brunnen wieder gezogen, die Löcher werden nicht verfüllt.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Kunststoff, Wasser

Verbleibende Baustoffe -

Injektionsdrücke: -

Physikalische Einwirkung: Evt. neue Fließwege

Chemische Einwirkung: -

Alternative(n): Je nach geol. Situation: Technischer Verbau (Nagelwände, Spundwände, etc.), Filterbrunnen

Eingriffsdauer: Temporär

3.3 Filterbunnen

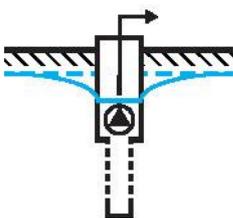
Zweck: Entwässerung von Baugruben, Grundwasserabsenkung

Beschrieb:

Das Verfahren ist prinzipiell gleich wie bei einer Bohrung mit Piezometerausbau. Nach dem Abteufen einer verrohrten Bohrung wird das Filterrohr versetzt. Das Filterrohr ist lediglich im Bereich der Filterstrecke geschlitzt oder gelocht. In diesem Bereich wird durchlässiges Material als Ringraumfüllung verwendet (Kies, Sand). Teilweise wird eine Abdichtung (z. B. bei verschiedenen Stockwerken) aus Compactonit² als Ringraumfüllung eingesetzt.

Nach Beendigung der Wasserhaltung kann das Filterrohr wieder gezogen werden. Je nach Bauvorhaben und gegebenen Platzverhältnissen wird dieses jedoch meist nur abgeschnitten. Die eingebaute Ringraumfüllung verbleibt i. d. R. im Untergrund.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Kunststoff, Compactonit

Verbleibende Baustoffe Kunststoff, Compactonit

Injektionsdrücke: -

Physikalische Einwirkung: Wenn kein Rückbau erfolgt: Veränderung der Grundwasserströmung, neue Fließwege

Chemische Einwirkung: Vernachlässigbare Emission

Alternative(n): Geschlossene Wasserhaltung

Eingriffsdauer: i. d. R. temporär

² Definition: Bentonithaltiger, quellfähiger Dichtungston in Pelletform

4. Baugrubenabschlüsse / Hangsicherungen

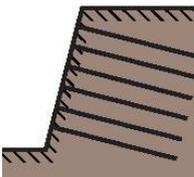
4.1 Nagelwände

Zweck: Temporäre oder permanente Sicherung von Baugruben oder Hängen

Beschrieb:

Nagelwände dienen vornehmlich der Sicherung von Baugruben und Hanganschnitten. Durch die Verformungen des anstehenden Geländes werden die Nagelkräfte mobilisiert. Diese Kräfte werden auf eine entsprechende Frontausbildung übertragen. Die häufigste Frontausbildung ist eine armierte Spritzbetonschicht. Für die Erstellung von Spritzbetonwänden wird Frischbeton mit einem Zusatz von Abbindebeschleunigern verwendet, welche ein vergleichsweise schnelles Abbinden des Betons gewährleisten. Normalerweise werden bei Nagelwänden Selbstbohranker (vgl. 4.7.2) verwendet. Bei der Erstellung von Selbstbohrankern wird ein Zementleim mit vergleichsweise hohem Wasseranteil verwendet. Dies gewährleistet eine gute Pumpbarkeit und eine gute Verzahnung des Injektionskörpers mit dem Boden. Nagelwände sind undurchlässiger als der anstehende Boden, auch wenn sie in der Regel mit Entwässerungslöchern versehen werden, die einen dauerhaften, flächigen Wasserdruck auf die Wand vermeiden sollen.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe:	Stahl, Zementleim, Frischbeton
Verbleibende Baustoffe	Stahl, Zementstein, Beton
Injektionsdrücke:	i. d. R. Selbstbohranker, d.h. geringe Injektionsdrücke
Physikalische Einwirkung:	Durchflussveränderung wenn permanent
Chemische Einwirkung:	Während der Erstellung Emission ins Grundwasser möglich
Alternative(n):	Je nach Situation: Rühlwand, Spundwand, flache Böschungen, Bohrpahlwand, etc.
Eingriffsdauer:	Permanent

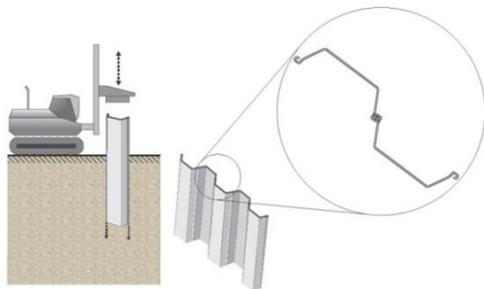
4.2 Spundwände

Zweck: Temporäre Sicherung von Baugrubenböschungen, Abdichtung von Baugruben (geschlossene Wasserhaltung)

Beschrieb:

Spundwände bestehen aus Stahlprofilen (Spundwandbohlen), welche über das sogenannte „Schloss“ miteinander verbunden werden. Je nach Tiefenlage eines Wasserstauers kann eine Baugrube mit diesem System nahezu wasserdicht umschlossen werden. Die Profile werden in den Untergrund gerammt oder vibriert. In Böden mit hoher Lagerungsdichte, kann es nötig sein, vor dem Einbringen von Spundwänden Lockerungsbohrungen durchzuführen. Wenn besondere Anforderungen an die Dichtigkeit gestellt werden, ist es möglich die Schlösser der Spundwand zusätzlich abzudichten. Nach Beendigung der Wasserhaltung können die Spundwandbohlen wieder aus dem Untergrund gezogen werden. Der Einbauvorgang von Spundwänden erfordert keine für den Grundwasserschutz relevanten Baustoffe. Eventuell verwendete Dichtmittel können für den Grundwasserschutz relevant sein. Spundwände können rückverankert werden (vgl. Kap. Verankerungen).

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Stahl, ggf. Dichtmittel, ggf. Schmiermittel

Verbleibende Baustoffe Keine, Sonderfall: „verlorene Spundwand“

Injektionsdrücke: -

Physikalische Einwirkung: Neue Fließwege beim Rückbau, ohne Rückbau: Durchlässigkeits- und Strömungsveränderung

Chemische Einwirkung: u.U. Korrosion

Alternative(n): Je nach Situation: Bohrpfahlwand, ggf. Nagelwand, Rühlwand

Eingriffsdauer: Temporär oder permanent

4.3 Rühlwand / Trägerbohlwand

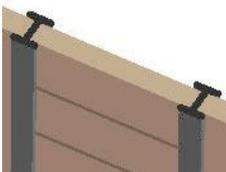
Zweck: Temporäre Sicherung von Baugrubenböschungen

Beschrieb:

Rühlwände dienen der Sicherung von Baugruben und Geländesprüngen. Bei der Erstellung werden Stahlprofile mit einem Abstand bis zu 3 m in den Boden gerammt, vibriert oder gebohrt. Im Falle einer Bohrung wird der Trägerfuss entweder mit Ortbeton (quasi drucklos) einbetoniert, oder das Bohrloch mit Sand verfüllt und der Träger anschliessend einvibriert.

Mit fortlaufendem Aushub der Baugrube wird die sog. Ausfachung zwischen den Trägern eingebracht. Die Art der Ausfachung reicht von Balkenelementen (i. d. R. Holz oder Beton) bis hin zu armiertem Spritzbeton. Die Träger nehmen die wirkenden Kräfte auf und übertragen sie auf die Profile resp. in tiefere Untergrundschichten. Rühlwände sind nicht wasserdicht. Nach dem Erreichen der Nutzungsdauer können die Wände i. d. R. vollständig zurückgebaut werden. Rühlwände können rückverankert werden (vgl. Kap. Verankerungen).

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe:	Stahl, Holz, Beton
Verbleibende Baustoffe	Ggf. verbleibende Stahlträger inkl. ausbetoniertem Fuss
Injektionsdrücke:	-
Physikalische Einwirkung:	Bei einbetoniertem Trägerfuss Durchflussveränderung, Durchlässigkeitsveränderung
Chemische Einwirkung:	Bei einbetoniertem Trägerfuss während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich
Alternative(n):	Schlitzwand, Bohrpfahlwand, Nagelwand
Eingriffsdauer:	Temporär, resp. permanent (einbetonierter Fuss)

4.4 Bohrpfahlwände

Zweck: Temporäre & permanente Sicherung von Baugrubenböschungen und Geländesprüngen

Beschrieb:

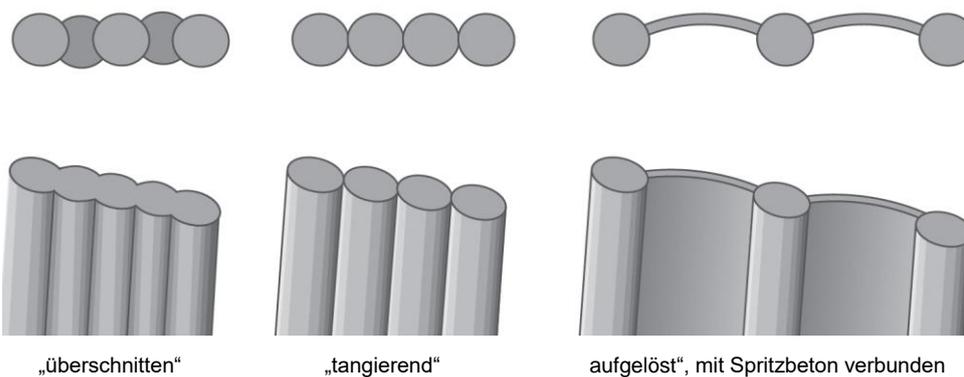
Bohrpfahlwände dienen der Sicherung von Baugruben, Geländesprüngen oder der Sicherung von Rutschungen. Sie können, überschnitten (und damit wasserundurchlässig), tangierend oder aufgelöst (neben einander mit Spritzbetonausfachung in den Zwischenräumen) ausgeführt werden.

Für die Herstellung eines Grossbohrpfahls wird ein Bohrloch durch eine verrohrte Bohrung mit einem Grossbohrgerät (i. d. R. Vollverdränger oder Schnecke) erstellt. Nach Erreichen der Endtiefe wird das Bohrgestänge aus der Verrohrung gezogen und bei Bedarf ein Armierungskorb aus Stahl eingebaut. Daraufhin wird das Bohrloch innerhalb der Verrohrung mit Frischbeton aufgefüllt.

Bohrpfahlwände können rückverankert werden (vgl. Kap. Verankerungen) und können nur mit sehr grossem Aufwand rückgebaut werden (z. B. durch Überbohren), sodass sie i. d. R. bestehen bleiben.

Einen Sonderfall stellen die sogenannten Schieberpfähle dar, mit denen auch durchlässige Bohrpfahlwände erstellt werden können. Diese sind jedoch in der Schweiz eher unüblich und werden daher dementsprechend selten eingesetzt.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Stahl, Frischbeton

Verbleibende Baustoffe: Stahl, Frischbeton

Injektionsdrücke: gering

Physikalische Einwirkung: Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung

1518061.1

Auswirkungen auf das Grundwasser durch Bauverfahren im
Grund- und Spezialtiefbau

GEOTEST

GEOLOGEN / INGENIEURE /
GEOPHYSIKER /
UMWELTFACHLEUTE

Chemische Einwirkung: Während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich

Alternative(n): Schlitzwand, Spundwand

Eingriffsdauer: Permanent

4.5 Schlitzwände

Zweck: I. d. R. permanente Sicherung von Baugrubenböschungen

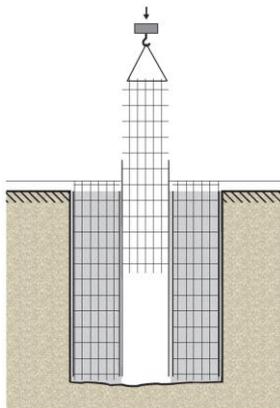
Beschrieb:

Schlitzwände dienen zur Sicherung von Baugruben. Zur Erstellung von Schlitzwänden wird ein Schlitz von der Oberfläche aus abschnittsweise ausgehoben und mit einer Stützflüssigkeit (in der Regel Bentonit) gegen das Einstürzen gesichert. Ist die Endtiefe erreicht, wird Armierung in den Schlitz eingebaut. Durch ein Schüttröhr wird Beton in den Schlitz gefüllt, welcher die Stützflüssigkeit verdrängt.

Es werden eine Stützflüssigkeit und Frischbeton in den Untergrund eingebracht. Nach dem Abbinden verbleibt armierter Festbeton. Schlitzwände sind wasserundurchlässig.

Schlitzwände können rückverankert werden (vgl. Kap. Verankerungen). Schlitzwände können nur mit sehr grossem Aufwand (überbohren) rückgebaut werden.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe:	Stahl, Frischbeton, Bentonit
Verbleibende Baustoffe	Stahl, Festbeton
Injektionsdrücke:	gering
Physikalische Einwirkung:	Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung
Chemische Einwirkung:	Während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich
Alternative(n):	Bohrpfahlwand, Spundwand
Eingriffsdauer:	Permanent

4.6 Sickerbetonauflagen

Zweck: Stabilisierung Baugrubenböschungen bei Wasserzutritten

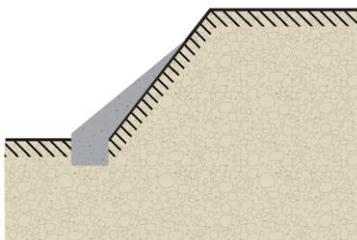
Beschrieb:

Sickerbetonauflagen dienen häufig zur Stabilisierung von Baugrubenböschungen unter Wassereinwirkung oder zum Beschweren des Böschungsfusses. Die Anwendung erfolgt meist kurzfristig bei unerwarteten Wasserzutritten (v. a. Hang- & Schichtwasser) einer bereits ausgeführten Böschung, um diese möglichst schnell zu stabilisieren. In diesem Fall wird mit geringer Einbindetiefe in die Baugrubensohle direkt auf die Böschung betoniert. Zur fussseitigen Fixierung des Betons werden oft Hilfsmittel wie kurze Stahlelemente oder Schaltafeln verwendet.

Sickerbeton weist einen vergleichsweise geringen Zementgehalt und eine einheitliche bis abgestufte Korngrösse des als Zuschlag verwendeten Rundkieses auf. Dadurch besitzt der Sickerbeton ein relativ grosses Porenvolumen auf und ist somit sehr gut wasserdurchlässig.

Es wird direkt auf der Baugrubenböschung aufgebracht Frischbeton verwendet. Die Sickerbetonauflagen können rückgebaut werden, verbleiben jedoch in einigen Fällen im Untergrund.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Frischbeton

Verbleibende Baustoffe Festbeton

Injektionsdrücke: -

Physikalische Einwirkung: Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung

Chemische Einwirkung: Während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich, ggf. Auswaschungen auf lange Sicht

Alternative(n): Je nach Situation: Nagelwand, Rühlwand, Spundwand

Eingriffsdauer: Temporär möglich, i.d.R. permanent (oft kein Rückbau)

4.7 Verankerungen

4.7.1 Vorgespannte Anker

Zweck: Temporäre oder permanente Rückverankerung von Baugrubensicherungen, Geländesprüngen und Hanganschnitten

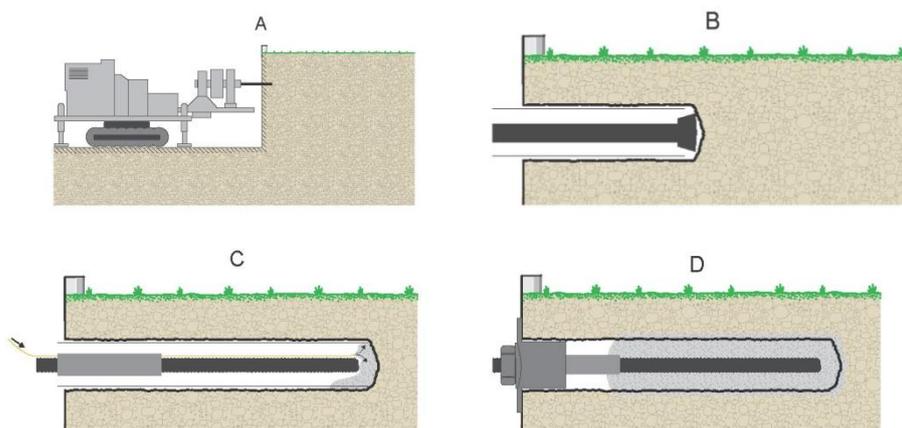
Beschrieb:

Vorgespannte Anker dienen zum temporären sowie dauerhaften Abtrag von Zugkräften in den Untergrund. Grundlegend bestehen sie aus einem Stahlzugglied, einem Verankerungskörper und dem Ankerkopf (vgl. Visualisierung).

Der Einbau von vorgespannten Ankern erfolgt i. d. R. in einem verrohrt gebohrtem Bohrloch. Nach Erreichen der Endtiefe der Bohrung wird das Bohrgestänge gezogen und das Stahlzugglied eingebaut. Anschliessend erfolgt die Herstellung des Verankerungskörpers indem das Injektionsgut (in der Regel Zement) mittels Injektionsschläuchen eingebracht wird. Nach dem Abbinden des Injektionsgutes werden die Anker gespannt um die Zugkräfte direkt in die tragfähige Schicht abzuleiten.

Für eine bessere Verzahnung des Verankerungskörpers mit dem Untergrund (bewirkt eine Erhöhung der Tragfähigkeit) wird bei Bedarf mit erhöhtem Injektionsdruck mehrmals nachinjiziert.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Stahl, Zement

Verbleibende Baustoffe Stahl, Zement

Injektionsdrücke: Bis zu ca. 40 bar

Physikalische Einwirkung:	-
Chemische Einwirkung:	Während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich
Alternative(n):	Je nach Situation: ungespannte Anker (u.a. Selbstbohranker), Anordnung von Stütz- und Schwergewichtsmauern
Eingriffsdauer:	Temporär oder permanent

4.7.2 Ungespannte Anker

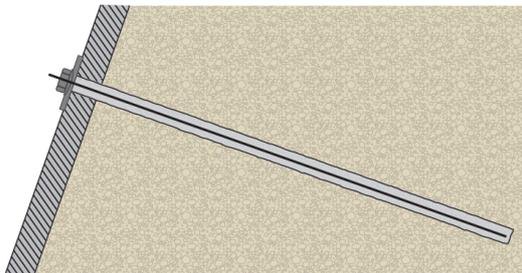
Zweck: Temporäre oder permanente Rückverankerung von Baugrubensicherungen, Geländesprüngen und Hanganschnitten

Beschrieb:

Ungespannte Anker dienen zum temporären sowie dauerhaften Abtrag von Zugkräften in den Untergrund. Grundsätzlich bestehen sie aus einem Stahzzugglied und dem Ankerkopf (vgl. Visualisierung).

Ungespannte Anker werden i. d. R. als sogenannte Selbstbohranker ausgeführt. Bei diesem Verfahren ist das Zugglied gleichzeitig das Bohrgestänge, an dessen Spitze eine verlorene Bohrkronen (d. h. die Bohrkronen verbleibt im Bohrloch) angebracht ist. Während dem Bohrvortrieb wird mit geringem Druck das Injektionsgut (Einbettungsmaterial) im Bohrloch eingebracht. Durch das Erhärten des Einbettungsmaterials entsteht ein kraftschlüssiger Verbund zwischen dem anstehendem Untergrund und dem Zugglied des Ankers. Aufgrund der fehlenden freien Ankerlänge ist ein richtiges Vorspannen oder auch nachträgliches Injizieren bei diesem Ankertyp nicht möglich.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Stahl, Zement

Verbleibende Baustoffe Stahl, Zement

Injektionsdrücke: geringe Injektionsdrücke

Physikalische Einwirkung: -

Chemische Einwirkung: Während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich

Alternative(n): Je nach Situation: vorgespannte Anker, Anordnung von Stütz- und Schwergewichtsmauern

Eingriffsdauer: Permanent

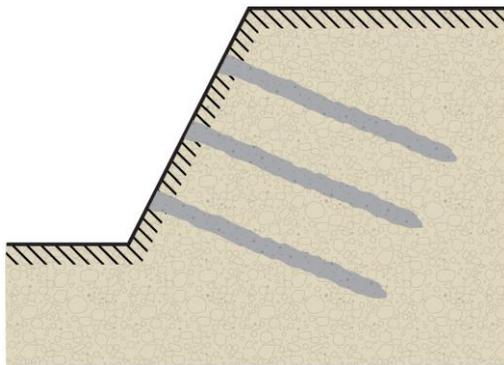
4.7.3 Jettinganker

Zweck: Rückverankerung von temporären Baugrubensicherungen

Beschrieb:

Bei Ausführung eines „Jetting“ (z. dt.: Düsenstrahlverfahren) wird eine Rohrlanze mit wenigen cm Durchmesser in den Untergrund vorgetrieben und eine wässrige Zementsuspension eingebracht. Im Falle von Jettingankern entsteht mit Erhärten der Zementsuspension eine Säule aus festem Zementstein, über die Zugkräfte in den Untergrund abgetragen werden (analog Prinzip ungespannte Anker, vgl. Kap. 4.7.2)

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Zementsuspension

Verbleibende Baustoffe Zementstein

Injektionsdrücke: bis ca. 600 bar

Physikalische Einwirkung: Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, lokale Veränderung der Grundwasserströmung

Chemische Einwirkung: Feststofftransport, während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich

Alternative(n): Je nach Situation: ungespannte & gespannte Anker

Eingriffsdauer: Permanent

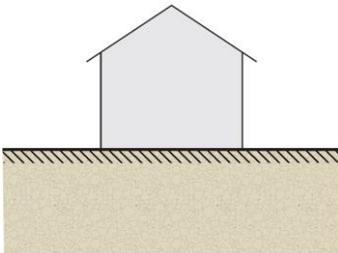
5. Flachfundationen

Zweck: Abtrag von Bauwerkslasten in den Untergrund

Beschrieb:

Flachfundationen dienen zum Abtrag von Bauwerkslasten in den Untergrund. Für die Gründung von Bauwerken werden je nach Tragfähigkeit des Untergrundes und den effektiven Gebäudelasten Fundamente verschiedener Grössen ausgeführt. Diese sind i. d. R. aus Stahlbeton und werden entweder direkt auf den anstehenden Untergrund oder auf eine Sauberkeitsschicht / Materialersatz (z. B. verdichteter Kiessand, Magerbeton, etc.) betoniert.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Stahl, Beton

Verbleibende Baustoffe Stahl, Festbeton

Injektionsdrücke: -

Physikalische Einwirkung: u. U. Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung

Chemische Einwirkung: Während Abbindevorgang d. Fundamente Emission ins Grundwasser möglich

Alternative(n): -

Eingriffsdauer: Betoniervorgang temporär, Foundation permanent

6. Pfahlfundationen

6.1 Rammpfähle (u.a. Fertigteilpfähle, Verdrängungspfähle, etc.)

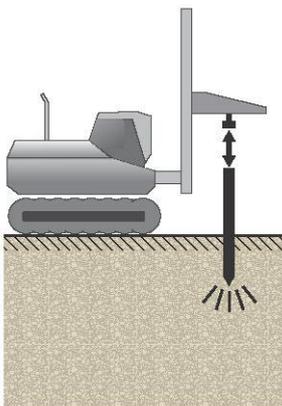
Zweck: Einleiten von Kräften in einen tiefer liegenden, tragfähigen Untergrund

Beschrieb:

Rammpfähle werden mechanisch (Rütteln, Rammen, Pressen) in den Untergrund getrieben. Die Pfähle verdrängen das anstehende Untergrundmaterial. Der Untergrund wird dabei um den Pfahlmantel, sowie die Pfahlspitze verdichtet. Hierdurch entsteht u.a. eine Reibung am Pfahlmantel (Mantelreibung, Reibungspfahl). Der massgebliche Lastabtrag erfolgt jedoch i.d.R. über die (verdichtete) Aufstandsfläche an der Pfahlspitze (Spitzendruck, Standpfahl).

Rammpfähle werden normalerweise ab Werk vorgefertigt und können aus Stahl, Holz oder (Stahl-) Beton bestehen. Auch vor Ort fabrizierte Ortbetonrammpfähle sind möglich. Sind grössere Pfahllängen notwendig, können die Elemente von Rammpfählen aus Beton und Stahl miteinander gekoppelt (i.d.R. verschweisst) werden.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Stahl, Beton, Holz

Verbleibende Baustoffe Stahl, Beton, Holz

Injektionsdrücke: -

Physikalische Einwirkung: Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung

Chemische Einwirkung:	Bei Ortbetonpfählen: Vernachlässigbare Emission, Bei Holzpfählen keine Emission / Einwirkung
Alternative(n):	Bohrpfahl, Injektionsrammpfahl
Eingriffsdauer:	Permanent

6.2 Injektionsrammpfähle (u.a. duktiler Gussrammpfahl)

Zweck: Einleiten von Kräften in einen tiefer liegenden, tragfähigen Untergrund durch Verdrängung und Verdichtung

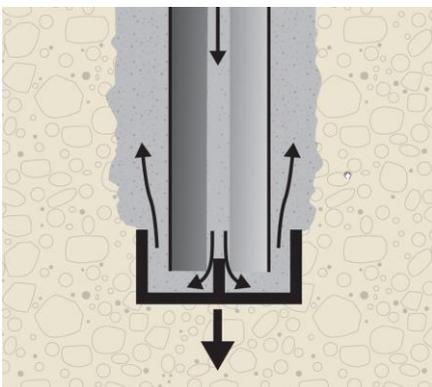
Beschrieb:

Injektionsrammpfähle werden wie gewöhnliche Rammpfähle mechanisch in den Untergrund getrieben. Die Pfähle verdrängen das anstehende Untergrundmaterial. Bei dieser Pfahlart handelt es sich um einen Stahlquerschnitt (Pfahlschaft, z.B. HEB / HEA Profil oder Rohrquerschnitt) an den eine Kopfplatte mit grösserem Durchmesser (Pfahlfuss) angeschweisst ist. Aufgrund des grösseren Pfahlfusses entsteht zwischen Pfahl und Untergrund ein Hohlraum, der während des Rammens kontinuierlich mit Mörtel aufgefüllt wird. Dieser erhöht die wirkende Pfahlmantelfläche, erhöht die Steifigkeit des Pfahls (u.a. gegen Knicken) und dient auch als Korrosionsschutz des Pfahles.

Zwischen Mörtel und Boden entsteht eine Verzahnung (Mantelreibung), der massgebliche Lastabtrag erfolgt jedoch über die Aufstandsfläche des Pfahlfusses (Spitzendruck).

Rammpfähle werden meist im Werk vorgefertigt. Für grössere Pfahliefen können die Stahlelemente miteinander gekoppelt (i. d. R. verschweisst) werden.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe:	Stahl, Mörtel
Verbleibende Baustoffe	Stahl, Mörtel
Injektionsdrücke:	gering
Physikalische Einwirkung:	Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, lokale Veränderung der Grundwasserströmung
Chemische Einwirkung:	Während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich
Alternative(n):	Bohrpfahl, Rammpfahl
Eingriffsdauer:	Permanent

6.3 Selbstbohrpfähle

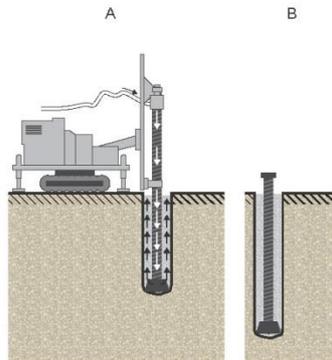
Zweck: Einleiten von Kräften in einen tiefer liegenden, tragfähigen Untergrund durch Bohrung (ggf. auch Verdrängung)

Beschrieb:

Bei Selbstbohrpfählen werden die Pfähle entweder mit oder ohne Verrohrung in den Untergrund eingebracht. In beiden Fällen ist der Pfahl / das Tragglied gleichzeitig das Bohrgestänge. Diese Art von Pfählen werden mit verloraener Bohrkronen (d.h. die Bohrkronen bleiben im Untergrund) erstellt.

Bei einer Bohrung ohne Verrohrung muss der während der Bohrung entstehende Hohlraum gestützt werden. Dies wird über eine Stützflüssigkeit erreicht, die später auch den Verbund zwischen Boden und Tragglied herstellt. Bei verrohrten Selbstbohrpfählen dient eine Verrohrung dieser Stützung. Sie wird nach Beendigung des Bohrvorganges wieder gezogen.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Stahl, Zement

Verbleibende Baustoffe: Stahl, Zement

Injektionsdrücke: gering

Physikalische Einwirkung: Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung

Chemische Einwirkung: Während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich

Alternative(n): Rammpfähle, Bohrpfähle

Eingriffsdauer: permanent

6.4 Bohrpfähle

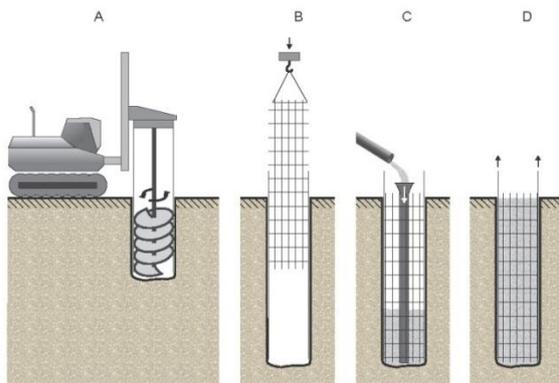
Zweck: Einleiten von Kräften in einen tiefer liegenden, tragfähigen Untergrund durch Bohrung (ggf. auch Verdrängung)

Beschrieb:

Bei Bohrpfählen wird eine verrohrte Bohrung hergestellt, die nach dem Ziehen des Bohrgestänges und dem Einbau der Armierung mit Beton verfüllt wird. Anstelle einer Bohrung kann der Aushub bei großen Pfählen auch mit Greifer durchgeführt werden (Bohrloch muss standfest sein).

Bei Bohrpfählen mit kleinem Durchmesser (< 30 cm Durchmesser, je nach Norm) spricht man von Mikrobohrpfählen. Da hier verrohrte Bohrungen eingesetzt werden, ist es möglich Gewebesäcke („Strümpfe“) vor Einbringen des Betons einzubauen. Diese verhindern ein Abfließen / Verfrachten des noch nicht abgebandenen Betons infolge Grundwasserströmungen oder gut durchlässigerer Bereiche.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Stahl, Frischbeton

Verbleibende Baustoffe Stahl, Beton

Injektionsdrücke: gering

Physikalische Einwirkung: Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung

Chemische Einwirkung: Während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich

Alternative(n): Rammpfähle

Eingriffsdauer: permanent

7. Ersatzmassnahmen

7.1 Materialersatz, Magerbetontatzen

Zweck: Austausch / Ersatz von Untergrund mit unzureichender Tragfähigkeit

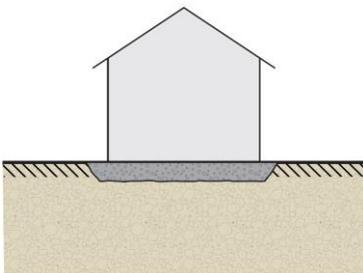
Beschrieb:

Steht unterhalb eines geplanten Fundamentes Untergrundmaterial mit unzureichender Tragfähigkeit (meist Sand- & Siltlinsen) an, kann zur Erhöhung der Tragfähigkeit resp. für einen flächigeren Lastabtrag ein Materialersatz durchgeführt werden.

Dazu wird das gering tragfähige Material ausgeräumt und durch verdichtbares Material ersetzt. Der Einbau erfolgt i. d. R. in Lagen verdichtet. Liegt das auszutauschende Material im Bereich eines flächigen Grund- oder Hangwasserspiegels, ist ein Materialersatz in den meisten Fällen nicht zielführend, sodass für gewöhnlich vorab Drainagemassnahmen (u.a. Grundwasserabsenkungen, etc.) erforderlich sind.

Bei Ausführung einer ausreichend biegesteifen Bodenplatte oder für Einzelfundamente besteht anstelle eines flächigen Materialersatzes die Möglichkeit punktuelle Fundamentvertiefungen (z. B. „Magerbetontatzen“) auszuführen. Diese werden oft mit Mager-, oder Sickerbeton anstelle von verdichtbarem Kiess verfüllt.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Kiessand (Kornverteilung variabel), Beton, z.T. auch Schaumglas-schotter

Verbleibende Baustoffe Kiessand (Kornverteilung variabel), Beton, z.T. auch Schaumglas-schotter

Injektionsdrücke: -

Physikalische Einwirkung: Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung

Chemische Einwirkung:	Bei Verwendung von Bodenmaterial: Keine Einwirkung, Bei Verwendung von Magerbeton: Während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich
Alternative(n):	Je nach Situation: Bodenstabilisierung, Pfähle, Rüttelstopfsäulen, etc.
Eingriffsdauer:	Permanent

8. Baugrundverbesserung

8.1 Kunstharzinjektionen

Zweck: Erhöhung der Tragfähigkeit des Untergrundes, Anhebung von Fundamenten nach Setzungen

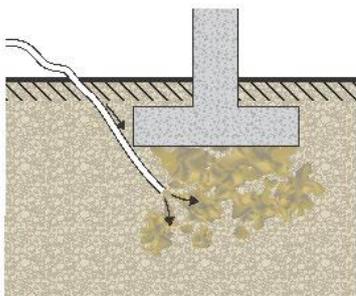
Beschrieb:

Kunstharzinjektionen dienen der Verbesserung der Tragfähigkeit des Untergrundes und zur Sanierung von Setzungen unter Fundamenten. Die Injektion erfolgt durch Injektionslanzen, welche vorgängig in den Boden vibriert werden. Dabei werden geringe Injektionsdrücke verwendet. Das Kunstharz verfüllt Hohlräume im Untergrund und wirkt somit nach dem Aushärten bodenstabilisierend.

Durch Verwendung expandierender Harze können Fundamente, welche von Setzungen betroffen sind, wieder angehoben werden. Die dafür verwendeten Harze dehnen sich unmittelbar nach der Injektion schnell aus und wirken so den erfolgten Setzungen entgegen. Nach dem Aushärten wird der Boden weiterhin stabilisiert.

Kunstharze können in unausgehärtetem Zustand grundwassergefährdend sein. Nach dem Aushärten sind sie in der Regel chemisch stabil. Die GEOTEST AG kann auf Erfahrungen mit Kunstharz Testinjektionen in der jüngeren Vergangenheit zurückgreifen. Das Grundwasser wurde durch Probenahme in Entnahmebrunnen im Abstrom der Kunstharzinjektionen überwacht. Dabei konnten keine grundwassergefährdenden Stoffe nachgewiesen werden.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Kunstharz

Verbleibende Baustoffe Kunstharz

Injektionsdrücke: Gering

Physikalische Einwirkung:	Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung
Chemische Einwirkung:	Während Aushärtung Emission ins Grundwasser möglich
Alternative(n):	Bei Baugrundverbesserung: Niederdruckinjektionen
Eingriffsdauer:	Permanent

8.2 Tiefreichende Bodenvermörtelungen (Soil mixing)

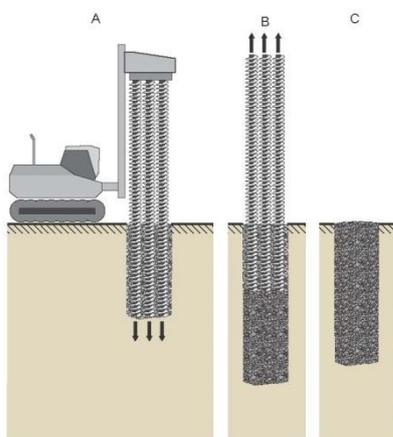
Zweck: Erhöhung der Tragfähigkeit des Untergrundes

Beschrieb:

Tiefreichende Bodenvermörtelungen dienen der Erstellung von unterirdischen Wänden oder tragfähigen Säulen durch eine Durchmischung des Untergrundes mit einem Bindemittel (i.d.R. Zement). Zu diesem Zweck sind verschiedene Verfahren von verschiedenen Herstellern auf dem Markt. Es werden unterschiedliche Geräte verwendet, welche jedoch nach dem gleichen Grundprinzip funktionieren.

Mittels einer Schneckenbohrung und einer gleichzeitigen Bindemittelinjektion wird der anstehende Untergrund mit dem Bindemittel durchmischt. Der so behandelte Boden wird nach dem Abbindevorgang des Bindemittels statisch ertüchtigt. Die Bohrungen können nach Bedarf in Rastern angeordnet werden. Durch direkte Aneinanderreihung der Bohrungen ist auch eine Herstellung von tragfähigen Wänden möglich.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe:	Zement
Verbleibende Baustoffe	Zement
Injektionsdrücke:	Gering
Physikalische Einwirkung:	Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung
Chemische Einwirkung:	Während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich
Alternative(n):	Rüttelstopfverdichtung, Rütteldruckverdichtung, Hochdruckinjektionen
Eingriffsdauer:	Permanent

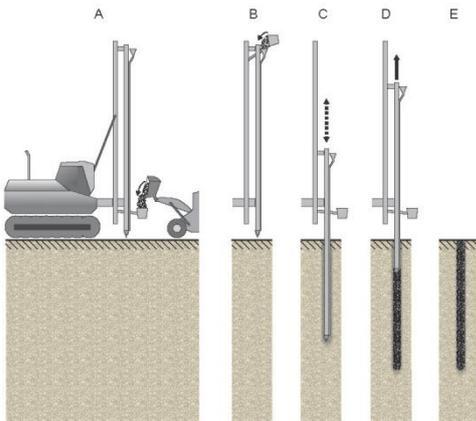
8.3 Rüttelstopfverdichtung

Zweck: Erhöhung der Tragfähigkeit des Untergrundes

Beschrieb:

Rüttelstopfverdichtungen dienen der Herstellung von tragfähigen Schottersäulen im Untergrund. Es wird ein Rüttler unter Zugabe von Wasser als Spülmedium in den Boden vibriert. Ist die Endtiefe erreicht, wird der Rüttler unter Zugabe des Einbaumaterials (i. d. R. Schotter) aus dem Bohrloch gezogen. Durch die Vibrationen des Rüttlers wird der eingebrachte Schotter direkt während dem Einfüllen verdichtet.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Wasser, Schotter

Verbleibende Baustoffe Schotter

Injektionsdrücke: -

Physikalische Einwirkung: Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung, neue Fließwege

Chemische Einwirkung: -

Alternative(n): Je nach Situation: Rütteldruckverdichtung, Mikrobohrpfähle

Eingriffsdauer: Permanent

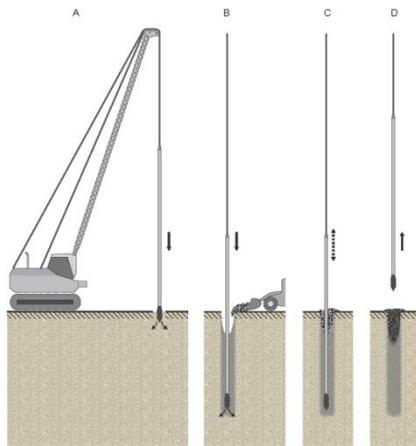
8.4 Rütteldruckverdichtung

Zweck: Erhöhung der Tragfähigkeit des Untergrundes

Beschrieb:

Die Rütteldruckverdichtung dient der Erstellung von verdichteten Säulen im Untergrund. Dazu wird ein Rüttler in den Boden vibriert. Nach Erreichen der Endtiefe wird ein Spülmedium (i. d. R. Wasser) zugegeben und der Rüttler stufenweise herausgezogen. So wird der Boden in der Umgebung des Rüttlers verdichtet. An der Oberfläche entsteht ein Setzungstrichter welcher mit verdichtbarem Material verfüllt wird.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Wasser, Boden

Verbleibende Baustoffe Boden

Injektionsdrücke: -

Physikalische Einwirkung: Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung

Chemische Einwirkung: -

Alternative(n): Je nach Situation: Rüttelstopfverdichtung, Mikrobohrpfähle

Eingriffsdauer: Permanent

8.5 Grossflächige Verdichtung / Impulsverdichtung

Zweck: Erhöhung der Tragfähigkeit des Untergrundes

Beschrieb:

Grossflächige Verdichtungen sind Verfahren zur Tragfähigkeitserhöhung des Baugrundes durch dynamische Verdichtung. Diese erfolgt durch die Einwirkung eines grossen Fallgewichtes (bis zu 30 t), welches aus grosser Höhe (bis zu 30 m) auf den Untergrund fallen gelassen wird. Je nach vorliegenden Untergrundverhältnissen kann eine Einwirkungstiefe von bis zu 10 m erreicht werden.

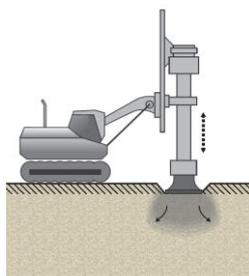
Zu den grossflächigen Verdichtungen gehören auch die Impulsverdichter bei denen ein Fallgewicht von bis zu 12 t und eine Verdichtungsplatte genutzt wird, um kontrollierte Stösse in den Boden zu leiten.

Durch Anwendung in einem entsprechenden Raster kann die grossflächige Verdichtung, sowie die Impulsverdichtung flächendeckend eingesetzt werden.

Visualisierung:



Grossflächenverdichtung



Impulsverdichtung

Eingesetzte Baustoffe: -

Verbleibende Baustoffe -

Injektionsdrücke: -

Physikalische Einwirkung: Durchlässigkeitsveränderung

Chemische Einwirkung: -

Alternative(n): Je nach Situation: Rüttelstopfverdichtung, Rütteldruckverdichtung, Mikrobohrpfähle

Eingriffsdauer: Permanent

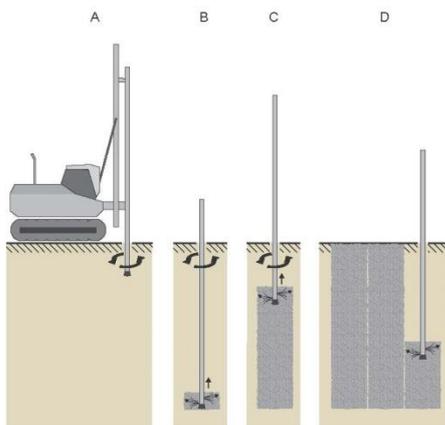
8.6 Hochdruckinjektionen / Jetting

Zweck: Erhöhung der Tragfähigkeit des Untergrundes

Beschrieb:

Durch Hochdruckinjektionen werden tragfähige Säulen aus Injektionsgut in den Untergrund eingebracht. Es sind verschiedene Bezeichnungen für das Verfahren, wie z.B. Jetting, Jet Grouting, Düsenstrahlverfahren und Soilcrete in Gebrauch. Das Grundprinzip des Verfahrens ist jedoch gleich. Es wird eine Injektionslanze in den Untergrund vorangetrieben und durch ein Injektionsventil am Ende der Injektionslanze eine wässrige Zementsuspension mit hohem Druck von bis zu 600 bar eingebracht. Das Injektionsgut tritt mit hoher Geschwindigkeit aus und schneidet den umliegenden Boden auf. Während der Injektion wird die Injektionslanze aus dem Untergrund gezogen, sodass eine Säule aus Injektionsgut resp. Zementstein entsteht.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Zement

Verbleibende Baustoffe Zement

Injektionsdrücke: bis ca. 600 bar

Physikalische Einwirkung: Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, Veränderung

der Grundwasserströmung

- Chemische Einwirkung:** Während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich, Feststofftransport bei Injektion
- Alternative(n):** Je nach Situation: Mikrobohrpfähle, Niederdruckinjektion
- Eingriffsdauer:** Permanent

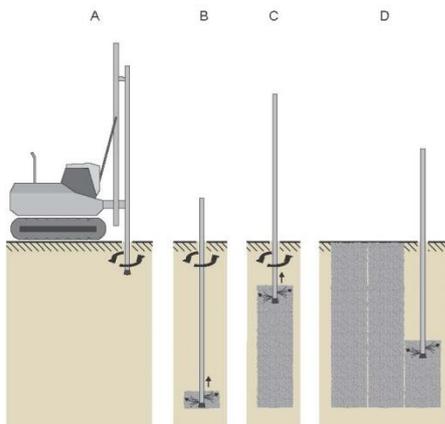
8.7 Niederdruckinjektionen

Zweck: Erhöhung der Tragfähigkeit des Untergrundes

Beschrieb:

Bei Niederdruckinjektionen wird der Untergrund mit Bindemittel (i.d.R. Zement) vermengt. Das Verfahren ähnelt den Hochdruckinjektionen, jedoch werden wesentlich geringere Injektionsdrücke verwendet. Es wird eine Injektionslanze bis in die vorgesehene Tiefe in den Untergrund gebohrt. Die Injektion erfolgt durch ein Injektionsventil am Ende der Lanze. Als Injektionsgut dient in der Regel Zement. Der Injektionsdruck beträgt bis zu 200 bar. Dadurch wird das Injektionsgut direkt in die vorhandenen Poren und Hohlräume im Untergrund geleitet.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Zement

Verbleibende Baustoffe Zement

Injektionsdrücke: bis ca. 200 bar

Physikalische Einwirkung: Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung

Chemische Einwirkung: Während Abbindevorgang Emission ins Grundwasser möglich, Feststofftransport bei Injektion

Alternative(n): Je nach Situation: Mikrobohrpfähle, Hochdruckinjektion

Eingriffsdauer: Permanent

9. Grabenlose Vortriebe

9.1 Horizontalspülbohrverfahren

Zweck: Verlegen unterirdischer Leitungen

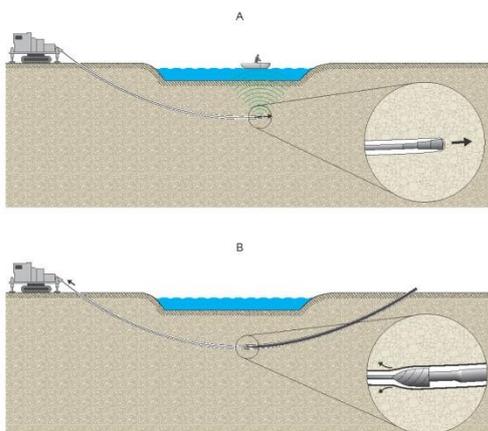
Beschrieb:

Das Horizontalspülbohrverfahren (Horizontal Directional Drilling, HDD) dient der grabenlosen unterirdischen Verlegung von Rohrleitungen mit kleinem Durchmesser (bis ca. 60 cm). Es handelt sich um ein Richtbohrverfahren, das steuerbar auf bis zu 100 m Entfernung durchgeführt werden kann. Ein Vorteil des Verfahrens ist, dass es um Hindernisse wie z.B. Leitungen herumgesteuert werden kann.

Für die Durchführung einer Horizontalspülbohrung erfolgt zuerst eine steuerbare Pilotbohrung entlang des geplanten Bohrprofils. Je nach Topographie und geplantem Verlauf der Bohrung ist dafür der Aushub einer Start- und Zielgrube nötig. Diese können bis zu mehrere Meter tief sein.

Nach dem Erreichen des Zielpunktes der Bohrung erfolgt beim Zurückführen des Bohrgestänges eine Aufweitungsbohrung in entgegengesetzter Bohrrichtung zur Vergrößerung des Bohrlochquerschnittes und Verdichtung der Bohrlochwand. Es können mehrere Aufweitungsbohrungen mit stufenweise größerer Bohrkronen durchgeführt werden. Der Rohreinzug erfolgt mit der letzten Aufweitungsbohrung im gleichen Arbeitsgang. Dafür wird das einzuziehende Rohr an der Bohrkronen befestigt und während der Bohrung eingezogen. Während des Bohrvorganges wird das Bohrloch durch eine Stützflüssigkeit (in der Regel Bentonit) gestützt.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Bentonit, Kunststoff

Verbleibende Baustoffe	Kunststoff
Injektionsdrücke:	Gering
Physikalische Einwirkung:	Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung
Chemische Einwirkung:	Während Verwendung von Stützflüssigkeit: Emission ins Grundwasser möglich
Alternative(n):	-
Eingriffsdauer:	Permanent

9.2 Pressrohrvortrieb

Zweck: Verlegen unterirdischer Leitungen

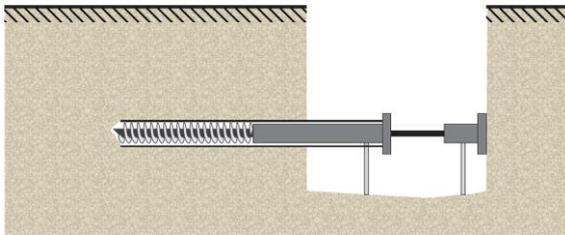
Beschrieb:

Der Pressrohrvortrieb dient zum grabenlosen Vortrieb von Rohrleitungen mit grossem Durchmesser (zwischen 100 und 220 cm). Das Verfahren ist vor allem zur Unterquerung von Terrainhindernissen geeignet.

Beim Pressrohrvortrieb werden einzelne Rohrelemente nacheinander aus einem zuvor erstellten Schacht hydraulisch in den Boden gepresst. Dafür wird auf das vorderste Rohrelement eine Schneide aufgesetzt. Das abzutragende Untergrundmaterial wird je nach Rohrdurchmesser maschinell oder in Handarbeit abgebaut und mit einem Stollenwagen aus dem Rohr befördert.

Hierfür ist der Aushub einer Start- und Zielgrube nötig.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Bentonit, Beton oder Stahl

Verbleibende Baustoffe Beton oder Stahl

Injektionsdrücke: -

Physikalische Einwirkung: Durchlässigkeitsveränderung, Durchflussveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung

Chemische Einwirkung: -

Alternative(n): Mikrotunneling

Eingriffsdauer: Permanent

10. Sonstiges

10.1 Weichgelinjektionskörper

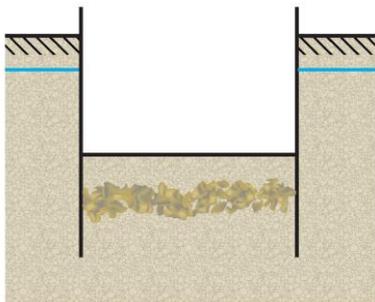
Zweck: Abdichtung im Untergrund

Beschrieb:

Weichgelinjektionen dienen der Abdichtung von Baugruben. Mittels Injektionslanzen wird ein Injektionsgut, welches aus Silikatgel und einem entsprechenden Härter besteht, in den Untergrund injiziert. Dort verfüllt das Injektionsgut die natürlichen Hohlräume und härtet vergleichsweise schnell aus. Im ausgehärteten Zustand wird das Injektionsgut als „Weichgel“ bezeichnet.

Während die Ausgangskomponenten zur Herstellung von Weichgelinjektionskörpern grundwassergefährdend sein können, geht von Weichgelen in ausgehärtetem Zustand bei fachgerechter Planung und Ausführung keine Umweltgefährdung aus. Es existieren sowohl organische, als auch anorganische Härter. Aufgrund von Grundwasserverunreinigungen durch organische Härter in der Vergangenheit werden diese weniger oft eingesetzt.

Visualisierung:



Eingesetzte Baustoffe: Wasserglas (Natriumsilikat), Härter

Verbleibende Baustoffe Weichgel

Injektionsdrücke: Gering

Physikalische Einwirkung: Durchlässigkeitsveränderung, Veränderung der Grundwasserströmung

Chemische Einwirkung: Während Aushärtung Emission ins Grundwasser möglich

Alternative(n): Jettingsohle, Bodenvereisung

Eingriffsdauer: Permanent

11. Alternative zu Gewebesäcken

Bei Erstellung von Ankern und Pfählen besteht die Möglichkeit diese mit einem Gewebesack auszuführen. Der Gewebesack reduziert die Ausbreitung der Zementsuspension im Bereich des späteren Zementkörpers. Hierdurch wird vermieden, dass grössere Hohlräume als vorgesehen mit Zement verfüllt werden, wodurch die Verdrängung des umliegenden Untergrundmaterials reduziert wird. Hierdurch wird eine allf. Reduktion der Durchlässigkeit resp. des Durchflusses innerhalb des rückverankerten Erdkörpers begrenzt. Weiter kommt weniger Zementsuspension mit allf. vorhandenem Grundwasser in Berührung, sodass sich unter optimalen Bedingungen ein alkalisches Milieu nur im Nahbereich des Verpresskörpers einstellt.

Für den Einbau von Ankern und Pfählen mit Gewebesack wird i. d. R. eine verrohrte Bohrung ausgeführt in dessen Bohrloch der Anker / Pfahl inkl. des Gewebesacks gelegt wird. Der Anker / Pfahl wird anschliessend versetzt. Damit sich der Gewebesack beim Injizieren dementsprechend ausbreiten kann, ist dessen Durchmesser grösser als der ursprüngliche Bohrdurchmesser. Während dem Ausinjizieren wird der Gewebesack bei geringem Druck mit Zementsuspension gefüllt, während zeitgleich das Hüllrohr rückgezogen wird. Die Ausführung von Ankern und Pfählen mit Gewebesäcken ist üblicherweise nicht bei Selbstbohrverfahren möglich, da diese den Sack während dem Bohrvorgang beschädigen würden.

Der statische Nachteil eines Gewebesackes ist die Reduktion des äusseren Tragwiderstandes, da die statisch notwendige Verzahnung zwischen Zementkörper und anstehendem Boden durch den Gewebesack massgeblich reduziert wird. Die Folge ist eine notwendige erhöhte Anzahl oder / und Länge der notwendigen Pfähle / Anker.

Alternativ zur Ausführung von Gewebesäcken können, je nach Situation, Zementsuspensionen mit höherer Viskosität (z. B. dickflüssiger Zementleim) verwendet werden. Soll der Kontakt von Zementsuspension mit dem Grundwasser gänzlich vermieden werden sind permanent verrohrte Anker / Pfähle möglich oder andere Bauverfahren, die ohne den Einsatz von Zement erfolgen denkbar (z.B. Kunstharzinjektionen, Spundwandverbau, etc.).

Anker werden häufig bei technischen Verbauten von Baugruben (Spundwand, Bohrpfahlwand, Schlitzwand) eingesetzt. Je nach Geometrie dieser Baugrubenabschlüsse können neben Ankern auch andere Konstruktionen zur Aufnahme von Horizontalkräften angewendet werden (Spriesskränze, Spriesse, etc.).

12. Zusatzstoffe

Zur Veränderung der chemischen resp. physikalischen Eigenschaften des Betons werden häufig Zusatzmittel beigefügt. Je nach Mittel und Anwendungsanforderungen können diese z. B. die Verarbeitbarkeit, Erstarren, Erhärten, etc. beeinflussen. Häufige im Tiefbau verwendete Zusatzstoffe sind v.a. Betonverflüssiger, Fließmittel und Erstarrungsbeschleuniger. Allerdings sind grundsätzlich v.a. während dem Abbindevorgang Emissionen ins Grundwasser möglich. Die dabei ablaufenden chemischen Vorgänge sind nicht im Detail bekannt und z. T. auch nicht vollständig erforscht.

13. Schlussbemerkungen

Es existiert eine deutlich grössere Anzahl an Bauverfahren als hier beschrieben, insbesondere z. B. Pfahltypen, die im Grundwasser eingesetzt werden. Vorliegender Bericht verzichtet auf die Aufzählung aller Verfahren und fasst diese in groben Kategorien zusammen. In Absprache mit dem Bundesamt für Umwelt wurde zudem auf die Beurteilung von Zementstabilisierungen, Hinterfüllungen, Leitungen (z. B. Ausgleichsleitungen), Erdwärmesonden, permanenten Wasserhaltungen, Grundwasserbrunnen und Versickerungsanlagen verzichtet.

Alle im Bericht beschriebenen Bauverfahren im Grundwasser beeinflussen dieses mindestens temporär physisch. Sobald Baustoffe im Grundwasser verbleiben, findet immer eine - zumindest lokale - Veränderung der Grundwasserströmung, der Durchflusskapazität oder der Durchlässigkeit statt.

Hingegen beeinflussen nur wenige Bauverfahren im Grundwasser dieses chemisch, resp. nur sehr lokal (pH-Wert). Dies da die eingesetzten Stoffe ihre eigenen chemischen Prozesse bereits beendet haben (Abbinden Beton), oder weil der Kontakt mit den Grundwasser bestmöglichst vermieden wird (z. B. Gewebesäcke).

Hierbei ist zu beachten, dass die chemischen Reaktionen von Zuschlagsstoffen wie Beschleunigern oder Verflüssigern im Rahmen des vorliegenden Berichtes nur dem Grunde nach beurteilt worden sind.

Sehr wenige Verfahren und deren chemische Auswirkung werden derzeit lediglich punktuell eingesetzt und sind damit noch zu wenig hinsichtlich des Grundwasserschutzes untersucht (Kunstharz, Weichgel).

Bauverfahren im Grund- und Spezialtiefbau						
Nr.	Verfahren	Temporär	Permanent	Physikalische Einwirkung	Chemische / Stoffliche Einwirkung	Alternativen
Sondierungen						
Sondages						
2.1	Kernbohrungen (Sondierbohrungen) Forage carotté (forage de reconnaissance)	X	(X)	(Fw)	-	2.4
2.2	Bohrungen ohne Kern (destruktive Bohrung) Forage destructif	X	(X)	(Fw)	-	2.4
2.3	Baggerschlitze Tranchée à la pelle-rétro	X		(Fw)	-	2.1; 2.4
2.4	Rammkernsondierungen Carrotier battu	X		(Fw)	-	2.1
2.5	Rammsondierungen Pénétrömètre dynamique	X	(X)	(Fw)	-	2.3; 2.4
2.6	Ausbau von Sondierungen Equipement du forage	X	(X)	-	(Em)	-
2.7	Sonstige (CPTU, Flachdilatometer, Drehflügel) Essais géotechniques (CPTU, dilatomètre plat, scissomètre à ailettes)	X		-	-	-
Wasserhaltungen						
Epuisement d'une fouille						
3.1	Pumpensümpfe/ Sickergräben Puisard, tranchée drainante	X	(X)	Strv, Fw	-	3.3
3.2	Vakuumverfahren Wellpoints	X		(Fw)	-	3.3; Bei Verbau: 4.1; 4.2
3.3	Filterbrunnen Puits filtrant	X	(X)	Strv, Fw	gE	-
Baugrubenabschlüsse/Hangsicherungen						
Enceintes de fouille/Stabilisation de pentes, talus						
4.1	Nagelwände Paroi clouée		X	Dfv	Em	5.2; 4.3; 4.4
4.2	Spundwände Rideau de palplanches	X	(X)	Fw	-	4.4; ggf. 4.1; 4.3
4.3	Rühlwand / Trägerbohlwand Paroi berlinoise, parisienne	X	(X)	(Dfv, Dlkv)	Em	4.1; 4.4; 4.5
4.4	Bohrpfahlwände Paroi de pieux sécants ou jointifs		X	Dfv, Strv	Em	4.2; 4.5
4.5	Schlitzwände Paroi moulée		X	Dfv, Strv	Em	4.2; 4.4
4.6	Sickerbetonauflagen béton perméable	(X)	X	Dfv, Strv, (Ftr)	Em	4.1; 4.2; 4.3
4.7.1	Vorgespannte Anker Ancrage précontraint		X	-	Em	4.7.2
4.7.2	Ungespannte Anker Clou (passif)		X	-	Em	4.7.1
4.7.3	Jettinganker Ancrage en microjetting		X	Dlkv, Dfv, Strv	Ftr, Em	4.7.1, 4.7.2
Flachfundationen						
Radiers						
5	Flachfundationen Radiers		X	Dfv, Strv	Em	-
Pfahlfundationen						
Fondations sur pieux						
6.1	Ramppfähle Pieux battus		X	Dlkv, Dfv, Strv	kE / vE	6.2; 6.3; 6.4
6.2	Injektionsrammpfähle Pieux battus injectés		X	Dlkv, Dfv, Strv	Em	6.1; 6.4
6.3	Selbstbohrpfähle Pieux autoforeurs		X	Dlkv, Dfv, Strv	Em	6.1; 6.4
6.4	Bohrpfähle Pieux forés		X	Dlkv, Dfv, Strv	Em	6.1
Ersatzmassnahmen						
Mesures de substitution						
7.1	Materialersatz, Magerbetontatzen Substitution de sols		X	Dfv, Strv	kE / vE	-
Baugrundverbesserung						
Amélioration de sols						
8.1	Kunsthazinjektionen Injection de résine		X	Dlkv, Dfv, Strv	Em	8.7
8.2	Tiefreichende Bodenvermörtelungen Mélange sol en place avec un coulis de ciment		X	Dlkv, Dfv, Strv	Em	8.3; 8.4; 8.6
8.3	Rüttelstopfverdichtungen Colonne balastée		X	Dlkv, Dfv, Strv, Fw	-	6.3; 6.4; 8.4
8.4	Rütteldruckverdichtungen Vibrocompactage		X	Dlkv, Dfv, Strv	-	6.3; 6.4; 8.3
8.5	Grossflächige Verdichtung / Impulsverdichtung Compactage dynamique		X	Dlkv	-	8.3; 8.4
8.6	Hochdruckinjektion / Jetting Injection haute pression / Jetting		X	Dlkv, Dfv, Strv	Em, Ftr	6.3; 6.4; 8.7
8.7	Niederdruckinjektion Injection basse pression		X	Dlkv, Dfv, Strv	Em, Ftr	6.3; 6.4; 8.6
Grabenlose Vortriebe						
Avancement sans excavation						
9.1	Horizontalspülbohrverfahren Forage destructif horizontal		X	Dlkv, Dfv, Strv	Em	-
9.2	Pressrohrvortrieb Fonçage de tube		X	Dlkv, Dfv, Strv	-	-
9.3	Microtunneling Microtunnelier		X	Dlkv, Dfv, Strv	Em	-
Sonstiges						
Autre						
10.1	Weichgelinjektionskörper Injection avec un gel mou	X	X	Dlkv, Dfv, Strv		8.6

Legende (Erläuterung siehe Bericht Kap. 1)
NUR aus Sicht des Grundwasserschutzes relevante und dauerhafte Veränderungen

Physikalische Einwirkung **Symbol**

Durchlässigkeitsveränderung Dlkv
Durchflussveränderung Dfv
Veränderung Grundwasserströmung Strv
Bildung neuer Fliesswege Fw

Chemische Einwirkung **Symbol**

Keine Einwirkung / Emission kE
Geringe Emission gE
Emission ins Grundwasser möglich Em
Feststofftransport mit Grundwasser Ftr