

Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)

Injektionen

Deutsche Fassung EN 12715:2000

DIN
EN 12715

ICS 93.020

Teilweise Ersatz für
DIN 4093:1987-09

Execution of special geotechnical work – Grouting;

German version EN 12715:2000

Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Injection;

Version allemande EN 12715:2000

[Siehe auch "DIN SPEC 18187"](#)**Die Europäische Norm EN 12715:2000 hat den Status einer Deutschen Norm.****Nationales Vorwort**

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 288 „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)“ (Sekretariat: Frankreich, Vorsitz: Deutschland) in der Arbeitsgruppe WG 6 „Injektionen“ unter französischer Federführung erarbeitet. Im DIN Deutsches Institut für Normung e.V. ist hierfür der NABau-Arbeitsausschuss 05.18.06/Spiegelausschuss zu CEN/TC 288/WG 6 „Injektionen“ zuständig.

Diese Europäische Norm enthält neben den gesetzlichen Einheiten μm , mm , m für die Länge auch die nicht mehr im nationalen amtlichen und geschäftlichen Verkehr aufgrund des Gesetzes über Einheiten im Messwesen zugelassene Einheit Ångström.

Änderungen

Gegenüber DIN 4093:1987-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Grundlegende Überarbeitung unter den Gesichtspunkten einer Europäischen Harmonisierung und
- b) Berücksichtigung der DIN V ENV 1997-1 hinsichtlich der Ausführung von Injektionen.

Frühere Ausgaben

DIN 4093: 1962-06, 1987-09

Fortsetzung 29 Seiten EN

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

– Leerseite –

Deutsche Fassung

Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)

Injektionen

Execution of special geotechnical work – Grouting

Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Injection

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 9. Juni 2000 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, der Tschechischen Republik und dem Vereinigten Königreich.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation

Zentralsekretariat: rue de Stassart 36, B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite		Seite
Vorwort	2	7.4 Injektionsgut	11
1 Anwendungsbereich	3	7.5 Einbringen des Injektionsgutes	12
2 Normative Verweisungen	3	7.6 Überwachungs- und Kontrollkriterien	14
3 Begriffe und Zeichen	3	8 Ausführung	14
3.1 Begriffe	3	8.1 Allgemeines	14
3.2 Zeichen und Einheiten	5	8.2 Bohren	14
4 Erforderliche Informationen und Unterlagen zur Ausführung der Arbeiten	6	8.3 Aufbereiten des Injektionsgutes	15
5 Geotechnische Untersuchung	6	8.4 Injektion	15
5.1 Allgemeines	6	8.5 Injektionsabläufe	16
5.2 Durchlässigkeitsuntersuchung	7	9 Bauüberwachung, Prüfungen und Kontrollen	16
5.3 Injektionsversuche im Untergrund und im Laboratorium	7	9.1 Allgemeines	16
6 Baustoffe und Bauprodukte	7	9.2 Beaufsichtigung	17
6.1 Allgemeines	7	9.3 Überwachung und Kontrolle	17
6.2 Baustoffe für das Injektionsgut	7	10 Aufzeichnungen	18
6.3 Injektionsgut	8	11 Besondere Anforderungen	19
6.4 Probenahme und Prüfung	9	11.1 Sicherheit des Personals	19
7 Hinweise zu Entwurf und Bemessung	9	11.2 Umweltschutz	19
7.1 Vorbemerkungen	9	Anhang A (informativ) Messung von Injektionsparametern	20
7.2 Grundlagen und Ziele der Planung	9	Anhang B (informativ) Glossar	21
7.3 Injektionsprinzipien und -verfahren	10	Anhang C (informativ) Verbindlichkeitsgrad der Festlegungen	26
		Literaturhinweise	29

Vorwort

Diese Europäische Norm wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 288 „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Januar 2001, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Januar 2001 zurückgezogen werden.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen:

Belgien, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Portugal, Schweden, Schweiz, Spanien, die Tschechische Republik und das Vereinigte Königreich.

Diese Norm wurde von der Arbeitsgruppe (WG) 6 des CEN/TC 288 erarbeitet. Generelles Ziel des TC 288 ist die Normung geotechnischer Bauverfahren (einschließlich Prüf- und Kontrollverfahren) und der erforderlichen Materialeigenschaften. Die WG 6 wurde beauftragt, sich mit Injektionen unter Einbeziehung von Verdichtungsinjektionen zu befassen.

Das Dokument wurde mit der Absicht paralleler Gültigkeit mit ENV 1997-1, „Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln“ erstellt. Die vorliegende Norm geht auf Planungsfragen nur im notwendigen Umfang ein, deckt jedoch umfassend alle Anforderungen an Bauausführung und Bauaufsicht ab.

Sie wurde von einer Arbeitsgruppe, welcher Experten aus neun Ländern angehören, unter Berücksichtigung von mehr als zehn bereits existierenden einschlägigen nationalen und internationalen Normen und Richtlinien erarbeitet. Wegen international unterschiedlicher Bauverfahren und entsprechender Erfahrungen kann es notwendig werden, diese Norm oder Teile dieser Norm für besondere oder örtliche Bedingungen durch nationale Anwendungsrichtlinien zu ergänzen.

Die Anhänge A, B und C sind informativ.

1 Anwendungsbereich

Diese Norm ist auf Ausführung, Prüfung und Überwachung geotechnischer Injektionsarbeiten anwendbar. Da ENV 1997-4 aufgegeben wurde, werden bestimmte Planungsaspekte mitefassen.

Die Injektion mit geotechnischer Zielsetzung (geotechnische Injektion) ist ein Vorgang, bei dem die Einbringung eines pumpbaren Materials in den Baugrund indirekt kontrolliert wird, indem die rheologischen Kennwerte des Materials entsprechend angepasst und die Einbringungsparameter (Druck, Volumen und Durchflussrate) gesteuert werden.

Folgende Prinzipien und Verfahren der geotechnischen Injektionen werden in dieser Norm behandelt:

- Injektionen mit Baugrundverdrängung (Verdichtungsinjektion, hydraulische Aufbrechinjektion);
- Injektion ohne Baugrundverdrängung (Poreinjektion, Klüftinjektion, Hohlraumverfüllung).

Spezielle Injektionsanwendungen, welche allgemein mit Bauarbeiten verbunden sind, oder welche aus Katastrophenfällen resultieren, werden in dieser Norm nicht erfasst.

2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte oder undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei datierten Verweisungen gehören spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

EN 196-1, *Prüfverfahren für Zement – Teil 1: Bestimmung der Festigkeit.*

EN 196-2, *Prüfverfahren für Zement – Teil 2: Chemische Analyse von Zement.*

EN 196-3, *Prüfverfahren für Zement – Teil 3: Bestimmung der Erstarrungszeiten und der Raumbeständigkeit.*

ENV 196-4, *Prüfverfahren für Zement – Teil 4: Quantitative Bestimmung der Bestandteile.*

EN 196-5, *Prüfverfahren für Zement – Teil 5: Prüfung der Puzzolanität von Puzzolanementen.*

prEN 196-8:1997, *Prüfverfahren für Zement – Teil 8: Hydratationswärme – Lösungsverfahren.*

prEN 196-9:1997, *Prüfverfahren für Zement – Teil 9: Hydratationswärme – Teiladiabatisches Verfahren.*

prEN 197-1:2000, *Zement – Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement.*

prEN 197-2:2000, *Zement – Teil 2: Konformitätsbewertung.*

ENV 451, *Prüfverfahren für Flugasche.*

EN 480-1, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 1: Referenzbeton und Referenzmörtel für Prüfungen.*

EN 480-2, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 2: Bestimmung der Erstarrungszeit.*

prEN 480-3:1991, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 3: Bestimmung des Schwindens und Quellens.*

EN 480-4, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 4: Bestimmung der Wasserabsonderung des Betons (Bluten).*

EN 480-5, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 5: Bestimmung der kapillaren Wasseraufnahme.*

EN 480-6, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 6: Infrarot-Untersuchung.*

prEN 480-7:1991, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 7: Bestimmung der Dichte flüssiger Zusatzmittel.*

EN 480-8, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 8: Bestimmung des Feststoffgehalts.*

prEN 480-9:1991, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 9: Bestimmung des pH-Werts.*

EN 480-10, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 10: Bestimmung des wasserlöslichen Chloridgehaltes.*

EN 480-11, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 11: Bestimmung von Luftporenkennwerten in Festbeton.*

EN 480-12, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Prüfverfahren – Teil 12: Bestimmung des Alkaligehalts von Zusatzstoffen.*

prEN 934-1, *Zusatzstoffe für Beton, Mörtel und Injektionsgut – Allgemeine Definitionen und Anforderungen für alle Arten von Zusatzstoffen.*

prEN 934-3:1998, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 3: Zusatzmittel für Mauermörtel – Definitionen, Anforderungen und Konformität.*

EN 934-4, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 4: Zusatzmittel für Einpressmörtel für Spannglieder – Definitionen, Anforderungen und Konformität.*

EN 934-6, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel – Teil 6: Probenahme, Konformitätskontrolle, Bewertung der Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung.*

ENV 1997-1:1994, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln.*

3 Begriffe und Zeichen

3.1

Begriffe

Die in diesem Abschnitt angegebenen Begriffe sind nur eine Auswahl der wichtigsten Ausdrücke bezüglich geotechnischer Injektionen. Weitere Begriffe enthält das Glossar im Anhang B.

3.1.1

Hohlraumverfüllung

en: bulk filling

fr: injection de comblement

Einbringen von Injektionsgut mit hohem Feststoffgehalt, um große Hohlräume zu füllen

3.1.2

Verdichtungsinjektion (Kompaktionsinjektion)

en: compaction grouting

fr: injection solide

Injektionsverfahren mit Verdrängung des Baugrundes zu dem Zweck, Mörtel mit hoher innerer Reibung in den Boden zu pressen, um den Boden zu verdichten, ohne ihn aufzubrechen

3.1.3

Kontaktinjektion

en: contact grouting

fr: injection de contact

Einbringen von Injektionsgut im Übergang zwischen Bauwerken und dem Baugrund

3.1.4**Verdrängungsinjektion**

en: displacement grouting

fr: injection avec déplacement des terrains

Einbringen von Injektionsgut in einen Baugrund, dergestalt, dass der Boden verformt, verdichtet oder verdrängt wird

3.1.5**wirksamer Druck**

en: effective pressure

fr: pression effective

Tatsächlicher Druck, der im Injektionsgut im Baugrund herrscht

3.1.6**Kluftinjektion**

en: fissure grouting

fr: injection de fissure

Einbringen von Injektionsgut in Klüfte, Fugen, Spalten und Diskontinuitäten, insbesondere in Festgestein

3.1.7**drucklose Verfüllung**

en: gravity grouting

fr: injection gravitaire

Einbringen des Injektionsgutes ohne aktiven Druck, außer demjenigen, den die Höhe der Flüssigkeitssäule im Bohrloch ausübt. Manchmal als drucklose Verfüllung durch offenes Schütt-/Trichterrohr bezeichnet

3.1.8**Injektionsgut**

en: grout

fr: coulis

Pumpbares Material (Suspension, Lösung, Emulsion oder Mörtel), das in eine Formation aus Locker- oder Festgestein eingepresst wird und nach einer bestimmten Zeit ansteift und erhärtet

3.1.9**Injektionsdruck**

en: grouting pressure

fr: pression d'injection

Druck, der während des Injektionsvorganges aufgebracht wird und an festgelegten Stellen (im allgemeinen an der Pumpe oder am Bohrlochkopf) gemessen wird

3.1.10**Hydraulische Rissbildung (Claquage)**

en: hydraulic fracturing

(hydraulic fracture, claquage grouting)

fr: fracturation hydraulique (injection de claquage)

Das Aufbrechen des Untergrundes, ausgelöst durch das Injizieren von Wasser oder Injektionsgut unter einem Druck, der die örtliche Zugfestigkeit und den Begrenzungsdruck überschreitet; auch als Frac-Behandlung, hydraulische Spaltenbildung, hydraulische Hebung oder Claquage bezeichnet

3.1.11**Eindringinjektion**

en: penetration grouting

fr: injection de pénétration

Verfüllen von Fugen oder Rissen im Fels oder von Porenräumen im Boden mit Injektionsgut ohne Baugrundverdrängung. Die Bezeichnung schließt Durchtränkung, Imprägnation durch Porenverfüllung, Kluftinjektion und Kontaktinjektion ein

3.1.12**Poreinjektion (Imprägnation durch Porenverfüllung)**

en: permeation (imprégnation) grouting

fr: injection d'imprégnation

Der Ersatz (Verdrängung) von Porenwasser oder Gas im porösen Medium durch Injektionsgut unter Drücken, welche niedrig genug sind, Verformungen zu verhindern (vermeiden)

3.1.13**Verdrängungsfreie Injektion****(Injektion ohne Baugrundverdrängung)**

en: non-displacement grouting

fr: injection sans déplacement des terrains

Ersatz des natürlichen Porenwassers in den vorhandenen zugänglichen Hohlräumen des Baugrundes durch eine Flüssigkeit oder Mörtel ohne signifikante Baugrundverdrängung. Der Begriff schließt die Ausdrücke Eindringinjektion und Hohlraumverfüllung ein

3.1.14**Stabile Suspension**

en: stable suspension

fr: suspension stable

Stabile Suspensionen zeigen in 2 Stunden bei einer Temperatur von 20 °C im oberen Bereich eines 1 000-ml-Messzylinders mit 60 mm Innendurchmesser weniger als 5 % Klarwasser-Abgabe

3.2 Zeichen und Einheiten

Die folgenden Zeichen und Einheiten werden in dieser Norm verwendet:

Zeichen	Benennung	Einheit
T	Temperatur	°C
V	Injiziertes Volumen	m ³
P	Injektionsdruck	Pa
Q	Injektionsgeschwindigkeit oder Fließrate	m ³ /s oder l/s
k	Permeabilität als absolute Materialeigenschaft ¹⁾	m ²
K	Durchlässigkeitsbeiwert (hydraulische Leitfähigkeit)	m/s
i	Hydraulischer Gradient	Dimensionslos
d_{10}, d_{15} D_{85}, D_{90}	Größte Teilchengröße der kleinsten 10 % bzw. 15 % des Siebdurchganges des Injektionsgutes Größte Korngröße der kleinsten 85 % bzw. 90 % des Siebdurchganges des Untergrundes	mm
t	Abbindedauer, Gelierzeit, Topfzeit, Filmzeit, Gebindeverarbeitungszeit	s
σ_c τ_f	Druckfestigkeit Scherfestigkeit (Fließgrenze)	Pa
σ τ	Normalspannung Scherspannung	Pa
ε	Dehnung	Dimensionslos
$\dot{\gamma}$	Scherrate	s ⁻¹
μ_{app} η ν	Viskosität (scheinbare) (dynamische) (kinematische)	Pa · s, kg/m · s Pa · s m ² /s
c	Kohäsion	Pa
τ_0	Fließspannung	Pa
ρ	Dichte	kg/m ²
γ	Wichte	kN/m ³
t_M	Auslaufzeit (Marsh)	s
R	Eindringtiefe, Ausbreitradius	m

1 Pa = 1 N/m² = 10⁻⁵ bar.1) In der Geotechnik ist es üblich, für die hydraulische Leitfähigkeit (den Durchlässigkeitsbeiwert) Bezeichnung k anzuwenden. Diese Zuordnung gilt jedoch auch in der Fels- und Flüssigkeitsmechanik.

4 Erforderliche Informationen und Unterlagen zur Ausführung der Arbeiten

4.1 Alle für die Ausführung von Injektionsarbeiten wichtigen Angaben sollten zusammen mit der technischen Leistungsbeschreibung bereitgestellt werden.

4.2 Vor Beginn der Injektionsarbeiten müssen folgende technische Angaben auf der Baustelle verfügbar sein:

- Baustellenbedingungen, z. B. Größe, Böschungswinkel, Zugang, Begrenzungen;
- Einschränkungen für die Arbeiten, welche aus umweltrechtlichen Bestimmungen resultieren;
- jegliche Verschmutzung des Untergrundes oder Gefährdung, die das Bauverfahren oder die Sicherheit des Arbeitsumfeldes beeinträchtigen können;
- Planungsunterlagen und technische Leistungsbeschreibung für die Arbeiten.

4.3 Die folgenden Informationen sollten vor Beginn der Arbeiten auf der Baustelle vorliegen:

- geologische und geotechnische Bedingungen (siehe Abschnitt 5);
- Koordinaten der Baustelle im nationalen Koordinatensystem;
- Vorhandensein, Lage und Zustand von allen benachbarten Bauwerken, z. B. Gebäude, Straßen, Ver- und Entsorgungsanschlüsse, unterirdische Bauwerke und ihre Fundamente;
- alle gleichzeitig oder später durchzuführenden Tätigkeiten, die auf die Arbeiten Einfluss nehmen können (z. B. Grundwasserabsenkung oder -dotierung, Tunnel- und andere Tiefbauarbeiten);
- alle Erfahrungen mit Injektions- oder anderen Tiefbauarbeiten auf oder in der Nähe der Baustelle oder relevante Erfahrungen bei Ausführung vergleichbarer Arbeiten unter ähnlichen Bedingungen;
- alle für die Erstellung von Zeichnungen und (falls verlangt) für Erläuterungen des Verfahrens wesentlichen Angaben;
- alle zusätzlichen Anforderungen an Beaufsichtigung, Überwachung oder Prüfung der Arbeiten.

4.4 Folgende Aspekte müssen vor Beginn der Arbeiten festgelegt werden und in schriftlicher Form auf der Baustelle verfügbar sein:

- Anforderung und Verantwortlichkeit für jedwede Überprüfung des Zustandes benachbarter Bauwerke, Straßen, Versorgungsanschlüsse usw. vor Beginn, während und nach Abschluss der Arbeiten;
- spezifische Verfahren und Kriterien für Nachweis, Kontrolle und Abnahme der Injektionsarbeiten;
- eindeutige Zuordnung der Verantwortlichkeiten für Planung, Ausführung, Auswertung der Ergebnisse und Abnahme der Arbeiten.

5 Geotechnische Untersuchung

5.1 Allgemeines

5.1.1 Allgemeine Anforderungen an die Baugrunduntersuchungen sind in den Abschnitten 3 und 7 von ENV 1997-1:1994 sowie in entsprechenden nationalen Richtlinien enthalten.

5.1.2 Für Planungszwecke sollten Baugrunduntersuchungen:

- einen umfassenden geotechnischen Bericht liefern;

- die Aufnahmefähigkeit des Baugrundes für das Injektionsgut festlegen;
- die Grundlage für die Auswahl des Injektionsgutes liefern.

5.1.3 Für die Ausführung sollte der Untersuchungsbericht über den Baugrund folgende besondere Angaben enthalten:

- physikalische und chemische Kennwerte des Baugrundes;
- Höhenkoten des Bodens an den Untersuchungs- und Prüfstellen, relativ zu einer festgelegten Bezugshöhe;
- Lage, Tiefe der Fundamente und Zustand vorhandener oder geplanter Bauwerke;
- Vorhandensein von Anisotropien oder durchlässigen Horizonten, die Einfluss auf die Injektionsarbeiten haben können;
- Orientierung, Häufigkeit und Öffnungsweite der Klüfte im Fels; Zusammensetzung und Art von Klüftfüllungen;
- Lage und Beschaffenheit verfüllter oder offener Hohlräume;
- Vorhandensein von Hindernissen, welche besondere Bohr- und Injektionsverfahren oder -ausrüstungen erfordern;
- Vorhandensein und Charakter von Baugrund, der durch Bohr- oder Injektionsarbeiten gelockert, aufgeweicht oder instabil werden kann, sich auflöst, nachrutscht oder quillt;
- Grundwasserstände und -gradienten und ihre zeitabhängige Veränderung;
- Schichten mit hoher Grundwasserfließgeschwindigkeit und hoher Durchlässigkeit;
- Temperatur, chemische Zusammensetzung, organischer und bakteriologischer Anteil des Grundwassers oder des Baugrundes, falls mit Problemen gerechnet wird.

5.1.4 Im Untersuchungsbericht sollten das geologische und geometrische Modell, die Hohlraumstruktur und ihre vermutliche Entwicklung beschrieben werden. Die Genauigkeit und die Grenzen des Modells sollten hervorgehoben werden.

5.1.5 Wo immer relevant, sollten folgende besondere Aufzeichnungen beim Bohren geführt werden; über:

- Lage und Ursache von Bohrkernverlusten;
- Gebräuche Zonen und Angaben zu getroffenen Stabilisierungsmaßnahmen;
- Wasserstand am Beginn und am Ende eines Bohrabschnittes, Bereiche mit Wasserverlust und -zufluss, Messungen des Spülungsrücklaufes, der Wasserfarbe und der Farbänderungen;
- Verhalten der Bohrvorrichtung (ruckartige, schwere, ruhige, gleichmäßige Bewegung);
- Aufzeichnung der Bohrparameter im Fall von Vollquerschnittsbohrungen;
- Vorschubgeschwindigkeit.

5.1.6 Besonders sorgfältige Untersuchungen sind für Injektionen in Gebirge mit hohen Spannungen und in verunreinigtem Boden durchzuführen.

- Im spannungsreichen Gebirge sind vor der Planung des Injektionsprojekts die in situ-Spannungsbedingungen zu untersuchen.

– Für die Injektion von organischen Gelen in verunreinigte Böden ist die bakteriologische Zusammensetzung des Grundwassers und des Baugrundes zu untersuchen.

5.1.7 Bohrlöcher für Baugrunduntersuchungen sind in geeigneter Weise zu verfüllen, wenn sie nicht mehr benötigt werden.

5.2 Durchlässigkeitsuntersuchung

5.2.1 Die hydraulische Leitfähigkeit des Baugrundes kann:

- ermittelt werden aus in situ-Durchlässigkeitsversuchen oder großangelegten Pumpversuchen;
- abgeschätzt werden aus Laborversuchen an Proben von ungestörtem oder wiederverdichtetem Boden;
- abgeschätzt werden aus der Korngrößenverteilung des Bodens und/oder der Lagerungsdichte des Baugrundes.

5.2.2 Geeignete Korrelationen mit den tatsächlichen Feld-Durchlässigkeiten sollten hergestellt werden.

5.2.3 In jeder Bohrung zur Untersuchung des Baugrundes im Fels sollten Versuche zur Ermittlung der Wasseraufnahme durchgeführt werden, um wasserführende oder besonders hohlraumreiche Bereiche im Bohrloch zu identifizieren. Das Bohrloch sollte entweder während des Bohrens oder unter Verwendung von Packern nach dem Bohren geprüft werden.

5.2.4 Artesische Bereiche sind vor den Versuchen besonders sorgfältig zu isolieren.

5.2.5 Im Fels werden Lugeon-Versuche angewendet, um eine allgemeine Information über die Transmissivität des Untergrundes zu erhalten. Sie bieten jedoch nicht unbedingt eine zuverlässige Korrelation für die Aufnahme eines bestimmten Injektionsgutes.

5.3 Injektionsversuche im Untergrund und im Laboratorium

5.3.1 Injektionsversuche (Feldversuche) werden zur Festlegung oder Bewertung eines Injektionsverfahrens durchgeführt. Sie sollten als Bestandteil der ersten Baugrunduntersuchungen gesehen werden. Wenn sie nicht Teil der Baugrunduntersuchung waren, sollten sie in der abschließenden Entwurfsphase oder im ersten Teil der Ausführungsphase vorgenommen werden. Sie sollten dann ausgeführt werden, wenn die das Projekt einleitenden Baugrunduntersuchungen und örtliche oder vergleichbare Erfahrungen nicht ausreichend sind, die Wirksamkeit eines Injektionsprojektes zu rechtfertigen oder sicherzustellen. Die Injektionsversuche sollten Angaben über Bohrlochabstand, Injektionsdruck, Aufnahme und Art des Injektionsgutes liefern.

5.3.2 Die Injektionsversuche müssen in enger Zusammenarbeit mit dem für das endgültige Injektionsprogramm verantwortlichen Planer geplant und durchgeführt werden.

5.3.3 Die Grenzkriterien für die Eigenschaften des vorgesehenen Injektionsgutes sollten auf Grundlage der während der Feldinjektionsversuche gewonnenen Erfahrung festgelegt werden.

5.3.4 Für jeden Arbeitsschritt der Probeinjektionen sind ausführliche Aufzeichnungen zu machen.

5.3.5 Ein Hinweis auf die Baugrundbedingungen kann auch dadurch erhalten werden, dass Bodenproben unter Laborbedingungen Probeinjektionen unterzogen werden. Durchlässigkeitsmessungen vor und nach Einbringen des Injektionsgutes in die Probe können Entscheidungen über Anzahl der Injektionsstellen, für die Injektionsmischung erwünschte Eigenschaften und das erforderliche Injektionsvolumen erleichtern.

6 Baustoffe und Bauprodukte

6.1 Allgemeines

6.1.1 Alle Bestandteile des Injektionsgutes und das Injektionsgut selbst müssen den Arbeitsvorschriften und

den jeweiligen Europäischen oder nationalen Normen entsprechen.

6.1.2 Die Verträglichkeit aller Bestandteile des Injektionsgutes ist zu bewerten. Außerdem ist eine Beurteilung der möglichen Wechselwirkung zwischen Injektionsgut und Baugrund durchzuführen.

6.1.3 Nach Festlegung der Bezugsquellen der für das Injektionsgut benötigten Baustoffe sind für alle Änderungen vorherige Beprobungen und Verträglichkeitsprüfungen erforderlich.

6.1.4 Baustoffe, die nicht den vereinbarten Qualitätsnormen entsprechen, sind unverzüglich von der Baustelle zu entfernen.

6.2 Baustoffe für das Injektionsgut

6.2.1 Hydraulische Bindemittel und Zemente

6.2.1.1 Zu den hydraulischen Bindemitteln gehören alle Zemente und ähnliche Produkte, die in wässriger Suspension zur Herstellung von Injektionsgut verwendet werden.

6.2.1.2 Mikrofeine (ultra-feine) hydraulische Bindemittel oder Zemente sind durch eine Teilchengröße d_{95} von weniger als 20 μm gekennzeichnet.

6.2.1.3 Besonders für mikrofeine Produkte muss die Körnungslinie bekannt sein.

6.2.1.4 Die Art des hydraulischen Bindemittels im Injektionsgut sollte unter Berücksichtigung seiner Korngrößenverteilung bezogen auf die Öffnungsweite der Spalten und der Porengröße im zu behandelnden Baugrund ausgewählt werden.

6.2.1.5 Zemente unterliegen der prEN 197-1:2000 und prEN 197-2:2000. Prüfverfahren für Zemente sind in EN 196 geregelt. Eigenschaften und Verfahren, welche von diesen Standards (Normen) abweichen und solche, die für Injektionsarbeiten eigentümlich sind, unterliegen dieser Norm.

6.2.2 Tone

6.2.2.1 Natürliche Tone, aktivierte oder modifizierte Bentonite, können dem Injektionsgut auf Zementbasis zugesetzt werden, um Ausbluten und Filtration unter Druck zu reduzieren und Viskosität und Kohäsion (Fließgrenze) des Injektionsgutes zu verändern oder seine Pumpbarkeit zu verbessern.

6.2.2.2 Mineralogie, Korngröße, Wassergehalt und Atterberg-Grenzen des Tones sollten bekannt sein.

6.2.3 Sande, Kiese und Füller

6.2.3.1 Sand und Füller werden in zementhaltigem Injektionsgut oder in Tonsuspensionen im allgemeinen als Füllstoffe oder zur Veränderung der Konsistenz des Injektionsgutes, seiner Beständigkeit gegen Auswaschen oder seiner mechanischen Festigkeit und Verformbarkeit verwendet.

6.2.3.2 Natürliche Sande oder Kiese können dem Injektionsgut unter der Voraussetzung hinzugefügt werden, dass sie keine schädlichen Bestandteile enthalten.

6.2.3.3 Die Granulometrie der im Injektionsgut verwendeten Sande und Füller muss bekannt sein.

6.2.4 Wasser

6.2.4.1 Auf der Baustelle aus natürlichen Vorkommen entnommenes Wasser sollte (besonders auf Chloride, Sulfate und organische Stoffe) untersucht werden, bevor seiner Verwendung zugestimmt werden kann.

6.2.4.2 Meerwasser kann verwendet werden, wenn die Eigenschaften der Injektionsmischung nicht beeinträchtigt werden.

6.2.5 Chemische Produkte und Zusätze

6.2.5.1 Chemische Produkte, wie Silikate und ihre Härter, Materialien auf Ligninbasis, Acryl- oder Epoxidharze, Polyurethane oder andere können für Injektionsarbeiten verwendet werden, wenn sie den Umweltgesetzen entsprechen.

6.2.5.2 Es sind die Wirkungen aller Produkte und Nebenprodukte zu berücksichtigen, die sich aus Reaktionen mit anderen Bestandteilen des Injektionsgutes oder mit dem umgebenden Baugrund ergeben.

6.2.5.3 Zusätze sind organische oder anorganische Produkte, die während des Mischens in geringen Mengen zugegeben werden, um Eigenschaften und Parameter des Injektionsgutes zu modifizieren, z. B. Viskosität, Abbindedauer, Wasserabgabe, Festigkeit, Beständigkeit, Kohäsion und Durchlässigkeit nach Einbringung.

6.2.5.4 Zusätze zum Injektionsgut, wie Superplastifizierer, Mittel zur Verbesserung der Wasserrückhaltekapazität, Luftporenbildner und andere werden in den Teilen 1, 3, 4 und 6 der prEN 934 und prEN 480-1 bis prEN 480-12 behandelt.

6.2.6 Andere Stoffe

6.2.6.1 Karbonatische oder Füller auf Siliciumdioxid-(Quarz-)Basis, pulverisierte Flugasche (pfa), Puzzolane und Flugasche von thermischen Kraftwerken oder andere inerte oder reaktive Bestandteile im Injektionsgut dürfen unter der Voraussetzung eingesetzt werden, dass sie miteinander chemisch verträglich sind und sowohl beim Einbringen als auch langfristig alle Umwelthanforderungen erfüllen.

6.2.6.2 Prüfverfahren für Flugasche fallen unter EN 451. Davon abweichende Verfahren und solche, die den Injektionsarbeiten eigentümlich sind, fallen unter diese Norm.

6.3 Injektionsgut

6.3.1 Allgemeines

6.3.1.1 Injektionsgut wird eingeteilt in:

- Suspensionen: entweder partikuläre von Feststoffteilchen geprägte oder kolloidale Suspensionen;
- Lösungen: entweder echte oder kolloidale Lösungen;
- Mörtel.

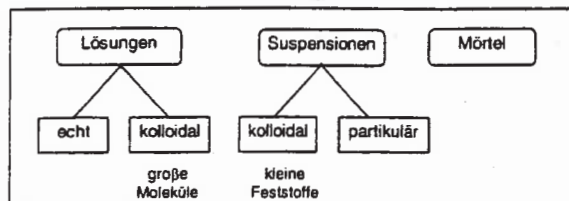


Bild 1 – Einteilung des Injektionsgutes

6.3.1.2 Folgende materialspezifischen Eigenschaften des Injektionsgutes sind bei seiner Auswahl zu berücksichtigen:

- Rheologie (Viskosität, Kohäsion usw.); Abbindedauer, Stabilität;
- Teilchengröße (wo anwendbar);
- Festigkeit und Dauerhaftigkeit (Beständigkeit);
- Toxizität.

6.3.1.3 Die Hauptparameter, welche die Eigenschaften des Injektionsgutes vor und nach dem Abbinden bestimmen, werden in Tabelle 1 angeführt.

6.3.2 Suspensionen

6.3.2.1 Suspensionen werden durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Korngrößenverteilung der Feststoffteilchen;
- Verhältnis Wasser/Feststoffe;
- Sedimentationsrate und Bluten;
- Wasserrückhaltekapazität bei Druckfiltration;
- rheologische Eigenschaften und Verhalten in Abhängigkeit von der Zeit.

6.3.2.2 Die Körnungslinie der Partikel in mikrofeinen Suspensionen sollte mit einem Lasergranulometer oder einem Gerät mit gleicher Präzision bestimmt werden.

6.3.2.3 Die Koagulationsneigung von Feststoffen in Suspensionen (besonders in mikrofeinen Suspensionen) ist zu berücksichtigen.

6.3.2.4 Der Tendenz von Feststoffen, in Wasser als Folge der Schwerkraft abzusinken, und ihrer Neigung, unter Druckgradienten zu bluten, ist unter besonderer Berücksichtigung von Art und Eigenschaften des zu behandelnden Bodens Rechnung zu tragen.

6.3.2.5 Kolloidale Tonsuspensionen sollten so hergestellt werden, dass die Tonteilchen vor dem Injizieren gut dispergiert und hydratisiert sind.

Tabelle 1 – Parameter, welche die Eigenschaften des Injektionsgutes charakterisieren

	Lösung	Suspension	Mörtel
Vor dem Abbinden	Abbindedauer, Dichte, pH-Wert, Oberflächenspannung, Topfzeit, Filmzeit, Gelzeit, Viskosität, Kohäsion, Thixotropie	Abbindedauer, Dichte, pH-Wert, Korngrößenverteilung, Viskosität, Kohäsion, Fließgrenze, Thixotropie, Stabilität, Wasserrückhaltekapazität	Abbindedauer, Dichte, pH-Wert, Korngrößenverteilung, Viskosität, Verarbeitbarkeit, Wasserrückhaltekapazität
Nach dem Abbinden	Aushärtungszeit, Endfestigkeit, pH-Wert, Verformbarkeit, Haltbarkeit (Dauerhaftigkeit), Schwinden, Ausdehnung, Scherfestigkeit, Synärese (Lösungen auf Silikatbasis)	Aushärtungszeit, Endfestigkeit, Verformbarkeit, Haltbarkeit (Dauerhaftigkeit), Schwinden, Ausdehnung, Dichte, Scherfestigkeit	Aushärtungszeit, Endfestigkeit, Verformbarkeit, Haltbarkeit, Schwinden, Ausdehnung

Tabelle 2 – Anwendung von Harzen als Injektionsgut

Harzart	Art des Baugrundes	Einsatz/Anwendung
Acrylharz	Körniges Lockergestein, fein geklüfteter Fels	Verringerung der Durchlässigkeit Verbesserung der Festigkeit
Polyurethanharz	Große Hohlräume	Verschäumung, um das Eindringen von Wasser zu blockieren (wasserreaktive Harze) Verfestigung oder örtliche Hohlräumfüllung (Zweikomponenten-Harze)
Phenolharz	Feiner Sand und sandiger Kies	Abdichtung und Verfestigung
Epoxidharz	Geklüfteter Fels	Verbesserung der Festigkeiten Verringerung der Durchlässigkeit

6.3.3 Lösungen

6.3.3.1 Einige Arten von Silikat-Injektionsgut sind nur kurzzeitig beständig und ihr Einsatz sollte sorgfältig geprüft werden.

6.3.3.2 Organische Silikatgele können im Baugrund zum Wachstum von Bakterien führen.

6.3.3.3 Die Wirkung der Synärese auf die Eigenschaften des behandelten Baugrundes und auf die Umwelt, besonders ihre Langzeitwirkung, ist vor der Behandlung abzuschätzen.

6.3.3.4 Die Wirkung von Temperaturunterschieden auf das Verhalten des Injektionsgutes während der Herstellung und Einbringung ist zu berücksichtigen.

6.3.3.5 Besondere Aufmerksamkeit ist zu widmen:

- der Giftigkeit einzelner Harz-Injektionskomponenten;
- dem Risiko der Verdünnung des Injektionsgutes im Grundwasser, woraus sich eine Verlängerung der Abbindezeit oder gar die Verhinderung der chemischen Reaktion ergeben kann;
- der Giftigkeit jedweder Stoffe, die ins Grundwasser gelangen ohne dass sie vorher chemisch voll ausreagiert sind, oder wenn diese Stoffe durch den Baugrund verändert wurden.

6.3.3.6 Harze werden üblicherweise in Fällen, wie sie in Tabelle 2 angeführt sind, eingesetzt.

6.3.4 Mörtel

6.3.4.1 Mörtel mit hoher innerer Reibung wird für die Verdichtungsinjektion oder zum Verfüllen von Hohlräumen verwendet. Sein rheologisches Verhalten wird im allgemeinen durch Ausbreitversuche beschrieben (Verarbeitbarkeit, siehe Tabelle A.1).

6.3.4.2 Mörtel, der unter der Wirkung seines Eigengewichtes fließt, wird im allgemeinen zum Verfüllen von Hohlräumen, offenen Klüften, klaffenden Spalten und großporigem, körnigen Lockergestein verwendet. Er muss beständig sein, und sein rheologisches Verhalten (ähnlich wie bei Suspensionen) wird im allgemeinen durch Versuche mit passend ausgewählten Fließtrichtern beschrieben.

6.3.4.3 Wenn Mörtel zur Verdichtungsinjektion verwendet wird, sollte er mindestens 15 % Feinanteile unter 0,1 mm haben.

6.4 Probenahme und Prüfung

6.4.1 Von den Bestandteilen einer Injektionsmischung sowie von der Mischung selbst müssen regelmäßig Proben entnommen werden, um die Übereinstimmung mit den geplanten Anforderungen nachzuweisen.

6.4.2 Es sind genormte Versuchsverfahren (Prüfgeräte, Randbedingungen, Analysen) anzuwenden, um einen Vergleich der Kennwerte von Produkten unterschiedlicher Hersteller zu ermöglichen.

6.4.3 Im Labor sollten die Kennwerte des Injektionsgutes bei einer Umgebungstemperatur von 20 °C geprüft werden.

6.4.4 Falls die Bedingungen auf der Baustelle wesentlich von den Laborbedingungen abweichen (besonders die Temperatur), müssen die Versuche unter Baustellenbedingungen wiederholt werden. Die Temperaturentwicklung während der Versuche muss gemessen und dokumentiert werden.

6.4.5 Tabelle A.1 stellt Verfahren für die Prüfung der wichtigeren Parameter des Injektionsgutes vor.

7 Hinweise zu Entwurf und Bemessung

7.1 Vorbemerkungen

7.1.1 Die grundlegende Norm für die Planung von Injektionen ist ENV 1997-1:1994, Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln.

7.1.2 Die vorliegende Norm ergänzt das oben genannte Dokument und legt zusätzliche Anforderungen und Empfehlungen für Planung und Ausführung zu Anwendungen von geotechnischen Injektionen fest.

7.2 Grundlagen und Ziele der Planung

7.2.1 Bei Entwurf und Planung einer Injektionsanwendung sollte ein flexibles Vorgehen gewählt werden, damit eine Anpassung an unvorhergesehene Baugrundbedingungen oder auftretende Änderungen im Verhalten des Baugrundes im Zuge der Arbeiten möglich ist.

7.2.2 Die wesentlichen Ziele geotechnischer Injektionen sind:

- Veränderung der hydraulischen/hydrogeologischen Kennwerte des Baugrundes;
- Veränderung der mechanischen Eigenschaften des Baugrundes;
- Verfüllung von natürlichen Hohlräumen, Grubengebäuden, Hohlräumen im Übergang von Bauwerken zum Untergrund;
- Herbeiführen von Verformungen im Boden, welche als Kompensation von Baugrundverlusten oder zur Stabilisierung und Anhebung von Fundamenten, Platten und Fahrbahnen dienen.

7.2.3 Für eine Planung von Injektionsarbeiten müssen folgende Angaben verfügbar sein:

- die Festlegung der Injektionsziele und Kontrollkriterien;
- ausreichende Informationen über den Baugrund, besonders unter geologischen, geotechnischen und hydrogeologischen Gesichtspunkten (einschließlich der chemischen Zusammensetzung des Wassers), soweit sie für Injektionen wichtig sind (siehe Abschnitt 5);
- Einschränkungen, welche sich zwangsweise aus Rücksichten auf die Umwelt ergeben, Einfluss durch oder auf benachbarte Bauwerke (Gebäude und Fundamente) oder andere Parameter, die auf die Auswahl der Injektionsmischung und des Injektionsverfahrens Einfluss nehmen können;
- Hinweise auf andere Injektionsprojekte, die in der Nähe oder unter vergleichbaren Umständen ausgeführt wurden.

7.2.4 Aufbauend auf die Baugrunduntersuchung, Injektionsversuche und Planung sind die folgenden Aspekte in den Arbeitsunterlagen zu berücksichtigen und anzusprechen:

- Form und Volumen des zu behandelnden Baugrundes;
- messbare Eigenschaften, die erreicht werden müssen und über die gesamte Lebensdauer des Projektes erhalten bleiben;
- Bohrverfahren und Raster der Bohrungen;
- anzuwendende Injektionstechniken und -verfahren;
- Austeilung/Abstand der Injektionsstellen;
- Abfolge der Injektionen hinsichtlich Zeit, Rezeptur des Injektionsgutes und Injektionsstellen;
- zulässige Grenzwerte für die Injektion (Injektionsdruck, Durchflussrate und Menge des einzubringenden Injektionsgutes);
- Rezepturen der Injektionsmischung;
- erforderliche Prüfungen und Kontrollen auf der Baustelle vor, während und nach der Injektion;
- für Überwachung und Datenerfassung erforderliche Geräte.

7.2.5 Folgende Aspekte sollten während der Injektion beachtet werden:

- die Zuverlässigkeit und Vollständigkeit der verfügbaren Angaben über den Baugrund;
- das erforderliche Verhalten des Injektionsgutes;
- vorhandene Bauwerke und ihr Zustand;
- durch die Injektionsarbeiten erzeugte Veränderungen des in-situ-Spannungszustandes und Porenwasserdruckes, der aktuellen Grundwasserhältnisse sowie zu erwartender Zustände nach Bauende;
- Toxizität der Injektionsprodukte;
- das Arbeitsumfeld, in dem die Baustoffe für das Injektionsgut zu lagern, zu mischen und einzubringen sind;
- die Verfügbarkeit und der zuverlässige Nachschub an Injektionsstoffen;
- umwelt- und sicherheitsbedingte Einschränkungen.

7.3 Injektionsprinzipien und -verfahren

7.3.1 Allgemeines

7.3.1.1 Die Einbringung des Injektionsgutes in einen Baugrund kann entweder mit oder ohne Verdrängung des Baugrundes erreicht werden. Bild 2 zeigt die verschiedenen Injektionsverfahren und ihre Beziehung zu diesen beiden Prinzipien.

7.3.1.2 Die Bezeichnung Verfestigungsinjektion wird mitunter verwendet, um eine durch die Poreninjektion erreichte Verbesserung der Festigkeits- oder Verformungskennwerte des Bodens zu beschreiben. Das Ziel der Verfestigungsinjektion in Lockergestein und Fels ist eine Verbesserung des Baugrundes insoweit, als unzulässige Verformungen ausgeschlossen werden. Da diese Bezeichnung keinem Injektionsprinzip oder -verfahren zuzuordnen ist, wird sie im weiteren Text nicht angewendet.

7.3.1.3 Die Bezeichnung Kompensationsinjektion wird angewendet, wenn während der Injektion ein durch Tunnelvortrieb oder Aushubarbeiten verursachter Baugrundverlust zu kompensieren ist.

7.3.2 Injektion ohne Baugrundverdrängung (verdrängungsfreie Injektion)

7.3.2.1 Poren- oder Durchdringungsinjektion (Imprägnation durch Porenfüllung)

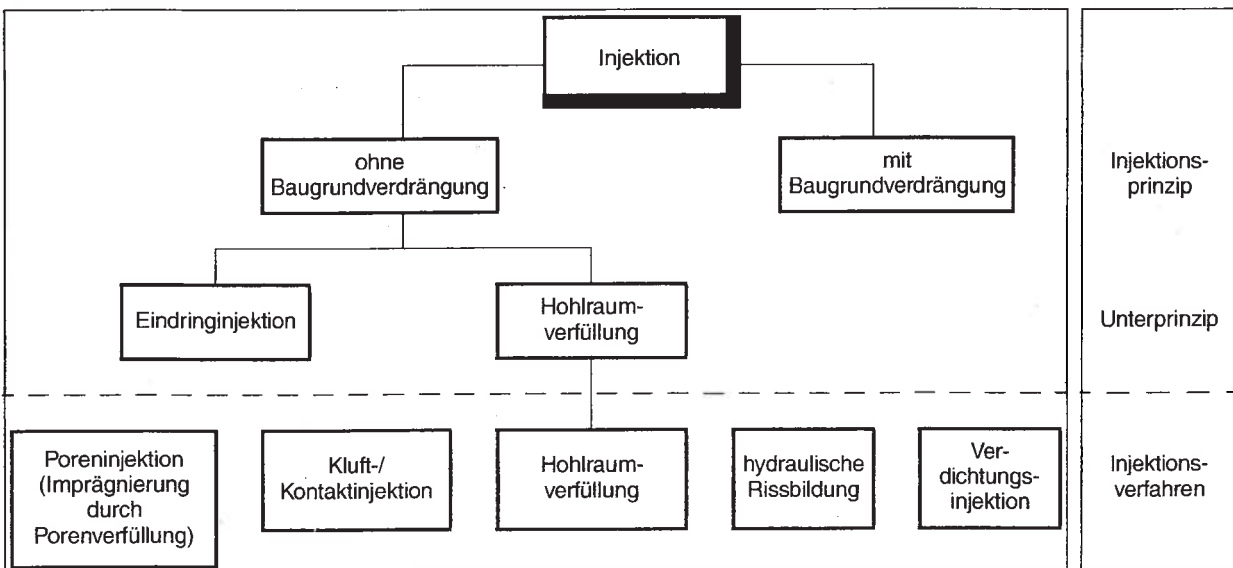


Bild 2 – Injektionsprinzipien und -verfahren

7.3.2.1.1 Poreinjektion (Imprägnation durch Porenverfüllung) beabsichtigt die Verfüllung mit Injektionsgut aller zugänglichen Zwischenräume zwischen den Körnern in durchlässigem Lockergestein, ohne die ursprüngliche Lagerung des Baugrundes zu stören. Die Durchlässigkeit des Baugrundes wird verringert, während sich Festigkeit und Dichte im allgemeinen erhöhen.

7.3.2.1.2 Um eine Verdrängung zu vermeiden, ist die Poreinjektion bei sorgfältig kontrollierten Drücken und Durchflussraten durchzuführen.

7.3.2.2 Kluff- und Kontaktinjektion

7.3.2.2.1 Kluffinjektion bewirkt, dass offene Klüfte, Risse und Spalten im Fels ohne Erzeugung neuer oder Ausdehnung vorhandener Risse mit Injektionsgut verfüllt werden, um die Durchlässigkeit des behandelten Baugrundes zu verringern und/oder seine Festigkeit zu erhöhen.

7.3.2.2.2 Häufigkeit, Orientierung, Länge, Öffnungsweite, Rauigkeit und Füllmaterial der Diskontinuitäten müssen für die Planung bekannt sein.

7.3.2.3 Hohlraumverfüllung

7.3.2.3.1 Hohlraumverfüllung wird zur Verfüllung großer natürlicher oder künstlicher Öffnungen eingesetzt. Mit dem Wort Hohlraumverfüllung wird im allgemeinen das drucklose oder unter geringen Drücken erfolgende Einbringen großer Mengen an Injektionsgut bezeichnet.

7.3.2.3.2 Falls ein großes Zementvolumen in einen geschlossenen Hohlraum eingebracht wird, ist die Wirkung von örtlich hohen Temperaturen und damit induzierten Spannungen zu berücksichtigen.

7.3.2.3.3 Der Hohlraumverfüllung darf eine Injektionsphase unter Druck folgen, um die noch verbliebenen Hohlräume zu füllen.

7.3.3 Injektion mit Baugrundverdrängung (Verdrängungsinjektion)

7.3.3.1 Allgemeine Hinweise

7.3.3.1.1 Bei der Verdrängungsinjektion wird Injektionsgut unter Druck eingebracht, um in beabsichtigter Weise den Baugrund räumlich zu verdrängen. Verdrängungsinjektion ist die übergeordnete Bezeichnung für Verdichtungsinjektion und hydraulische Rissbildung (Clauage). Die Verdrängungsinjektion wird angewendet, um die Dichte eines plastisch verformbaren Materials bzw. – wenn dabei die Grenze der plastischen Verformung überschritten wird – das Volumen des behandelten Baugrundes zu erhöhen.

7.3.3.1.2 Die kontrollierte Verdrängungsinjektion kann zur Verfestigung des Baugrundes unter vorhandenen Bauwerken eingesetzt werden.

7.3.3.2 Hydraulische Rissbildung

7.3.3.2.1 Injektion durch hydraulische Rissbildung wird verwendet für:

- Stabilisierung oder Verfestigung des Baugrundes (Lockergestein oder Fels);
- zur Erzeugung einer kontrollierten Hebung von Bauwerken;
- das Erreichen einer Abdichtungswirkung durch Herstellung von Abschottungen im Baugrund.

7.3.3.2.2 Aufgrund der Schwierigkeit, die Fortpflanzung eines hydraulischen Risses unter Kontrolle zu halten, sollte das Injektionsziel in mehreren zeitlich gestaffelten Injektionsphasen angestrebt werden.

7.3.3.3 Verdichtungsinjektion

7.3.3.3.1 Die Verdichtungsinjektion bezieht sich auf das Eindringen von vergleichsweise steifem (viskosem), partikulären Injektionsgut in den Untergrund, um damit Verdrängung und Verformung im Boden auszulösen. Das Injektionsgut wird üblicherweise durch unten offene Injektionsrohre in den Boden gepresst. Die Konsistenz des Injektionsgutes wird so gewählt, dass das Injektionsgut homogen bleibt und der Baugrund weder durchdrungen noch hydraulisch aufgerissen wird. Die Verdichtungsinjektion wird am häufigsten angewendet, um lockeren Baugrund zu verdichten und um Bauwerke, die sich gesetzt haben, anzuheben.

7.3.3.3.2 Das endgültige Flächenraster der Bohrlöcher zum Einbringen des Injektionsgutes wird im allgemeinen während des Injektionsvorganges entsprechend den Ergebnissen von in der Mitte des Primärasters durchgeführten Kontrollprüfungen festgelegt.

7.3.3.3.3 Das allmähliche Abklingen des Porendruckes in gering durchlässigem Baugrund ist bei Kontrollmaßnahmen zu berücksichtigen.

7.4 Injektionsgut

7.4.1 Art und Zusammensetzung

7.4.1.1 Art und Rezeptur des Injektionsgutes sind nach den Baugrundbedingungen und Arbeitsvorschriften auszuwählen.

7.4.1.2 Nationale Normen sind auf Anwendungsbeschränkungen für bestimmte Injektionsgüter hin zu prüfen.

7.4.2 Allgemeine Hinweise

7.4.2.1 Damit die Festlegungen der Leistungsbeschreibung zu Injektionsarbeiten auch umgesetzt werden können, sind bei der Planung folgende Punkte zu berücksichtigen:

- Zweck der Behandlung;
- Festlegungen der zeitlichen Aufeinanderfolge und Abläufe beim Einbringen des Injektionsgutes;
- Umweltbedingungen;
- rheologische Eigenschaften des Injektionsgutes und ihre zeitabhängige Veränderung, z. B. Wassergehalt der festen Bestandteile einer Injektionsmischung;
- Abbindedauer und Aushärtungszeit des Injektionsgutes;
- Verträglichkeit der einzelnen Bestandteile der Injektionsmischungen mit dem Verteilerleitungssystem und dem Baugrund;
- physikalische Eigenschaften nach dem Abbinden;
- Synäreswirkungen auf die Beständigkeit der mechanischen Eigenschaften des behandelten Baugrundes (für Injektionsgut auf Silikatbasis).

7.4.2.2 In der Planung sind folgende Umwelt-Aspekte zu berücksichtigen:

- Größe der durch das Injektionsgut zu füllenden Öffnungen sowie Größe der festen (hydratisierten) Bestandteile des Injektionsgutes unter besonderer Beachtung der Größe der Porenengstellen (kleinste Zugangsfläche) anstatt der Porosität;
- Durchlässigkeit des zu injizierenden Baugrundes und Eindringfähigkeit des Injektionsgutes;
- Chemie des Grundwassers, Anmachwassers und des Baugrundes;
- Temperatur des Baugrundes und des Injektionsgutes;
- Risiko und Auswirkung des Austrocknens von Injektionsgut sofern es Licht und Luft ausgesetzt ist;
- Einfluss auf die Umwelt während des Mischens, Verarbeitens und Einbringens des Injektionsgutes;
- Umweltbelastungspotential des Injektionsgutes.

7.4.2.3 Wenn Poren- bzw. Durchtränkungsinjektion (auch Durchdringungsinjektion) ausgeführt wird, sollten die Abmessungen der in Verbindung stehenden Poren (effektive Porosität) oder vergleichsweise Kluftabmessungen bekannt sein, bevor die Mischungen selbst geplant werden. Dies ist insbesondere auf Suspension zu beziehen, bei denen sowohl Filterkriterien (Verhältnis zwischen Partikelgrößen und Porendurchmessern) als auch die Stabilität der Mischung unter dem Injektionsdruckgradienten im Boden untersucht werden sollten. Weiterhin sollte die Kohäsion (Fließgrenze) auf die Reichweite der Behandlung und die Viskosität der Injektionsmischung auf die zulässigen Arbeitsdrücke abgestimmt werden.

7.4.2.4 Die Abbindedauer hängt von folgenden Faktoren ab:

- Volumen des herzustellenden und einzubringenden Injektionsgutes;
- Durchlässigkeit des Baugrundes;
- untereinander in Verbindung stehende Porensysteme im Baugrund;
- Grundwasserfließrate;
- Injektionsdauer für einen Arbeitsdurchgang (Injektionspasse);
- erwartete (Chargen-)Verarbeitungszeit.

7.4.3 Parameter und Kriterien

7.4.3.1 Für die Durchführung sind Bereich und Mittelwerte für folgende Parameter des Injektionsgutes unter vorgegebenen Umweltbedingungen festzulegen:

- Dichte, Viskosität, Fließgrenze oder Kohäsion;
- Scher- und Druckfestigkeit;
- Korngrößenverteilung des Zementes oder Bindemittels;
- Wasserrückhaltekapazität;
- für Silikatgele der relative Prozentanteil von Reagens und Silikat (Neutralisationsgrad);
- Absetzmaß.

7.4.3.2 Tabelle A.1 gibt die einzuhaltenden Messbedingungen für die wichtigsten Parameter für alle Klassen von Injektionsgut an.

7.4.3.3 In der Planung sollten außerdem Kriterien zur Auswahl einer bestimmten Mischung festgelegt werden, falls verschiedene Mischungen vorgesehen sind; ferner sind die zulässigen höchsten und niedrigsten Temperaturen während der Verarbeitung und Einbringung des Injektionsgutes anzugeben.

7.4.3.4 Für Lockerböden kann eine „Injizierbarkeits-Kennzahl“ wie beispielsweise das D_{10}/d_{90} – oder D_{15}/d_{85} – Kriterium angewendet werden, um damit die Eindringfähigkeit von partikulären Mischungen (Suspensionen) abzuschätzen (siehe Glossar). Im Fall von Felsinjektionen wird das Verhältnis der größten Partikelabmessung zur Rissweite (üblicherweise wird ein Verhältnis von eins zu drei (1/3) angenommen) verwendet.

7.4.3.5 Kriterien für den Wechsel oder die Anpassung der Mischungsrezeptur sollten ebenfalls bereits bei Beginn der Arbeiten für den Fall festgelegt sein, dass:

- die Injektionsgutaufnahmen deutlich über denen der Planungs-Annahme liegen;
- keine Aufnahme mit dem geplanten Injektionsgut erzielt wird;
- unerwünschte Bewegungen des Baugrundes eintreten.

7.4.4 Einsatzbereiche

7.4.4.1 Tabelle 3 zeigt die Arten von Injektionsgut und ihre Anwendbarkeit auf verschiedene Arten von Baugrund.

7.4.4.2 Ummantelungsmischungen für Manschettenrohre sollen so beschaffen sein, dass das Aufsteigen des Injektionsgutes im Ringraum verhindert und ein Aufbrechen der Mischung zwischen Manschette und Boden ermöglicht wird.

7.5 Einbringen des Injektionsgutes

7.5.1 Allgemeines

7.5.1.1 Die Verfahren zum Einbringen des Injektionsgutes sind speziell für den jeweiligen Auftrag in Abhängigkeit von Planungskonzept und -absicht auszuwählen.

7.5.1.2 Folgende Faktoren bestimmen das Injektionsverfahren:

- Volumen des Injektionsgutes V je Arbeitsdurchgang (Passe);
- Injektionsdruck P ;
- Durchflussrate oder Einbringungsgeschwindigkeit Q ;
- Rheologie des Injektionsgutes.

7.5.1.3 Die Planung sollte aufzeigen, wie Q , V und P einer bestimmten vorgesehenen Mischung an die bei der Einbringung des Injektionsgutes zu erwartende Reaktion des Baugrundes anzupassen sind.

7.5.1.4 Bei der Poreninjektion sollte die Durchflussrate (Injektionsrate) Q so begrenzt werden, dass der wirksame Druck niedriger als der Aufbrechdruck des Bodens bleibt.

7.5.1.5 Die Wirkung der durch die Behandlung modifizierten Porenwasserdrücke sowie die zugehörigen Veränderungen des in situ-Spannungszustandes sollten beachtet werden.

7.5.2 Bohrraster und Bohrlochplanung

7.5.2.1 Die relative Anordnung der Injektionspunkte innerhalb des zu behandelnden Baugrundes ist abhängig von:

- der Form des zu injizierenden Körpers;
- räumlichen und physischen Einschränkungen für die Anordnung der Bohrlöcher;
- erwarteten Richtungsabweichungen der Bohrlöcher;
- der Einschätzung der erwarteten Injektions-Reichweite (Aktionsradius) im Baugrund.

7.5.2.2 Anzahl, Lage, Abstand, Teufe, Durchmesser, Neigung und Richtung der Bohrlöcher und Injektionsstellen müssen von geologischen Bedingungen, Art der zu injizierenden Struktur, angestrebten Ergebnissen, Injektionsverfahren und -zweck, Art des anzuwendenden Injektionsgutes, Injektionsdruck und Aufnahmezeit an Injektionsgut abhängig gemacht werden. Bei der Planung ist die Möglichkeit einer Veränderung der oben aufgeführten Parameter vorzusehen.

7.5.2.3 Die Planung sollte, wann immer nur möglich, durch Injektionsversuche im Baugrund verbessert werden.

7.5.2.4 Die Lage aller Injektionsbohrungen ist planlich darzustellen und die einzelnen Bohrlöcher sind zu nummerieren.

7.5.2.5 Die Raumstellung von Schichtflächen, Kluft- oder Bruchflächen ist bei der Kluftinjektion von Fels zu berücksichtigen. Die Bohrlöcher sind entsprechend der Richtung und dem Abstand der offenen Hauptstrukturen anzuordnen.

7.5.2.6 Der Bohrlochdurchmesser sollte nach Art und Zustand des zu injizierenden Gebirges und nach der Tiefe und Neigung des Loches festgelegt werden. Er sollte so ausgewählt werden, dass alle vorgesehenen Bohrlochversuche möglich sind.

Tabelle 3 – Hinweise für die Anwendung von Injektionsgut für unterschiedliche Baugrundarten

Baugrund	Bereich	Verdrängungsfreie Injektion			Verdrängungs- injektion
		Poren- oder Durchdringungs- injektion	Kluft- oder Kontaktinjektion	Hohlraum- verfüllung	
Körniges Locker- gestein	Kies, grober Sand und sandiger Kies $K > 5 \times 10^{-3}$ m/s	Reine Zement- suspensionen, Suspensionen auf Zementbasis			Suspensionen auf Zementbasis, Mörtel
	Sand 5×10^{-5} m/s $< K < 5 \times 10^{-3}$ m/s	Feinstbindemittel- Suspensionen, Lösungen			
	Mittel- bis Feinsand 5×10^{-6} m/s $< K < 1 \times 10^{-4}$ m/s	Feinstbindemittel- Suspensionen, Lösungen, spezielle chemische Produkte			
Klüftiges Gebirge	Störungen, Risse, Karst $e > 100$ mm		Mörtel auf Zementbasis, Suspensionen auf Zementbasis (Tone als Füllstoff)	Mörtel auf Zementbasis, Suspensionen auf Zementbasis mit kurzer Abbindedauer, Polyurethan- schäume, andere wasserreaktive Produkte	
	Klüfte, Risse $0,1 \text{ mm} < e < 100 \text{ mm}$		Suspensionen auf Zementbasis, Feinstbindemittel- Suspensionen		
	Mikroklüfte $e < 0,1 \text{ mm}$		Feinstbindemittel- Suspensionen, Silikatgele, spezielle chemische Produkte		
Hohlraum	Große Hohlräume			Mörtel auf Zementbasis, Suspensionen auf Zementbasis mit kurzer Abbindedauer, Polyurethan- schaum, andere wasserreaktive Produkte	

(e = Rissweite)

7.5.2.7 Bohrlochabweichungen sollten durch sorgfältiges Arbeiten so gering wie möglich gehalten werden, und bei der Planung sollte der Abstand zwischen den Bohrlöchern so festgelegt werden, dass den erwarteten Abweichungen Rechnung getragen wird. Im allgemeinen sollte die Bohrlochachse bei Bohrtiefen bis 20 m um höchstens 3 % der Länge von der vorgesehenen Richtung abweichen. Bei größeren Bohrtiefen sollte der Abstand zwischen benachbarten Bohrlöchern so angepasst werden, dass diese Abweichungen Berücksichtigung finden.

7.5.3 Injektionsablauf

7.5.3.1 Die einfachste Form der Injektion besteht darin, dass eine einzige Art eines Injektionsgutes durch ein einziges Bohrloch eingebracht wird.

7.5.3.2 Der Ablauf kann jedoch in mehreren Stufen und verteilt auf viele Bohrlöcher so erfolgen, dass jede Stufe eine Aufeinanderfolge von Injektionen mit unterschiedlichem Injektionsgut erfordert.

7.5.3.3 Bei der Planung sind daher folgende Variablen festzulegen:

- Art und Weise, in der die Injektion des zu behandelnden Baugrundes erfolgt (einwärts oder auswärts, von oben nach unten oder von unten nach oben usw.);
- die Anzahl der Injektionsphasen;
- Anzahl der Injektionsphasen je Abschnitt;
- Art des bei jeder Injektionsphase einzubringenden Injektionsgutes.

7.5.4 Injektionsdruck

7.5.4.1 In der Praxis wird der Injektionsdruck im allgemeinen an der Injektionspumpe und/oder am Bohrlochkopf gemessen. Veränderungen der Druckhöhe und Reibungsverluste im Injektionssystem bewirken jedoch, dass sich dieser „Betriebsdruck“ von dem im Baugrund vorhandenen „wirksamen Druck“ unterscheidet.

7.5.4.2 Im Fels kann der „wirksame Injektionsdruck“ festgelegt werden, indem er auf den Druck bezogen wird, bei dem:

- das Gebirge unter Zugspannung aufbricht;
- vorwiegend horizontale Ebenen im Gebirge aufgespalten werden und Verschiebungen im Gebirge auftreten; oder
- eine Aufweitung der behandelten Klüfte auftritt.

7.5.4.3 Bei der Injektion ohne Verdrängung im Lockergestein hängt der maximale wirksame Injektionsdruck (oder Grenzdruck) vom Begrenzungsdruck an der Injektionsstelle ab.

7.5.4.4 Bei verdrängungsfreier Injektion richtet sich der zulässige Injektionsdruck nach jenem maximalen Druck, unter dem das Injektionsgut in den Boden eingebracht wird, ohne unerwünschte Verformungen zu verursachen.

7.5.4.5 Bei verdrängungsfreier Injektion muss in der Planung ein Wert für den zulässigen Injektionsdruck angegeben sein.

7.6 Überwachungs- und Kontrollkriterien

7.6.1 Bei der Planung sind Kriterien für Überwachung und Kontrolle vor, während und nach Ausführung von Injektionsarbeiten festzulegen; es ist anzugeben, welche der folgenden Parameter wie zu überwachen und zu kontrollieren sind:

- Eigenschaften des Injektionsgutes während der Verarbeitung und Einbringung;
- Toleranzen für Richtung und Neigung der Bohrlöcher (Herstellgenauigkeit beim Bohren);
- Kriterien für den Abbruch der Injektion nach jeder Passe;
- nach jeder Injektionsphase und/oder am Ende des Projektes erreichte Ergebnisse;
- Bewegung oder Verformungen des Baugrundes;
- Chemismus des Wassers;
- Wasserstände in vorhandenen Brunnen oder Pegel.

7.6.2 Abbruchkriterien für eine Injektionspasse sollten sich auf folgende Punkte stützen:

Im Lockergestein:

- Grenzdruck oder -volumen;
- Bewegung (Hebung) des Baugrundes, ausgelöst dadurch, dass bei der Injektion der zulässige Wert überschritten wird;
- Austritt von Injektionsgut zu/an der Oberfläche, in Gebäude oder benachbarte Bohrlöcher;
- Umläufigkeit der Packer.

Im Gebirge:

- Grenzdruck (max. Grenzwiderstand) und/oder -volumen;
- Bewegung des Baugrundes;
- Austritt von Injektionsgut;
- unzulässiger Verlust von Injektionsgut in benachbarte Bereiche.

7.6.3 Die Planung muss die Kontrollkriterien und die durchzuführenden Prüfungen festlegen, mit welchen nachzuweisen ist, dass die Ziele der Injektionsarbeiten erreicht wurden.

8 Ausführung

8.1 Allgemeines

8.1.1 Injektionsprojekte müssen mit qualifiziertem Personal besetzt werden. Verantwortliches Personal in Schlüsselstellungen muss vorangegangene Injektionserfahrung besitzen.

8.1.2 Zu der für Injektionen erforderlichen Ausrüstung gehören:

- Bohr- und Rammeinrichtungen;
- Misch- und Dosiereinrichtungen;
- Pumpen;
- Injektionsrohre/Leitungen;
- Packer;
- Überwachungs- und Versuchsausrüstung.

8.1.3 Die für die Verarbeitung des Injektionsgutes verwendete Ausrüstung muss den zu erwartenden maximalen Injektionsdrücken sicher standhalten.

8.1.4 Die Wartung der Injektionsausrüstung muss während der gesamten Dauer der Arbeiten von qualifiziertem Personal durchgeführt werden.

8.2 Bohren

8.2.1 Es können die nachstehenden Bohrverfahren angewendet werden:

- Drehbohrverfahren;
- Hammerbohrverfahren mit Außen-Hammer oder Im-Loch-Hammer;
- Hammerbohrverfahren mit Verrohrung;
- mit Greifer, Meißel und Bohr-Büchse hergestellte Bohrungen;
- Rammen von Einpresslanzen;
- Einrütteln von Verrohrungen oder Bohrgestängen.

In nicht standfestem Baugrund können für Vollquerschnittsbohrungen folgende Maßnahmen erforderlich sein:

- Einsatz von Bohrspülung, Injektionsgut oder Schäumen;
- temporäre Verrohrung;
- direkter Einbau von Manschettenrohren;
- progressive Stabilisierung beim Vortrieb des Bohrloches.

Wenn artesische Bedingungen zu erwarten sind, kann Bohren unter Gegendruck erforderlich sein.

8.2.2 Spülmittel für die Bohrungen und Bohrtechniken sind so auszuwählen, dass der Erfolg der nachfolgenden Injektionsarbeiten (unter besonderer Beachtung der Auswirkungen von Durchlässigkeitsänderungen an der Injektionsstelle) nicht beeinträchtigt wird.

8.2.3 Bei Bedarf sollten Neigung, Richtung und Abstand der Injektionsbohrungen vor Ort angepasst werden. Neue Bohrlöcher sollten als Ersatz für vorzeitig verstopfte oder unzulässig abgewichene Löcher abgeteufelt werden.

8.2.4 Bei offenen Bohrlöchern sollte der Bohrlochkopf geschützt werden, um eine Verunreinigung des Bohrloches zu vermeiden, falls die Injektion nicht unmittelbar nach dem Freispülen erfolgt.

8.2.5 Nach dem Bohren sind offene Bohrlöcher im Fels zu spülen, um Bohrklein und lose Gesteinsbruchstücke zu entfernen sowie Risse und Spalten zu öffnen. Diese Behandlung darf nicht angewendet werden, wenn der Fels durch das Spülmittel nachteilig beeinflusst werden kann.

8.3 Aufbereiten des Injektionsgutes

8.3.1 Lagerung

Die Bestandteile des Injektionsgutes sind so aufzubewahren, dass sie nachteiligen Witterungseinflüssen (besonders Temperatur und Feuchte) nicht ausgesetzt sind.

8.3.2 Aufbereiten von Chargen und das Mischen

8.3.2.1 Das Injektionsgut und seine Bestandteile dürfen bei der Lagerung, Handhabung und Verteilung nicht verunreinigt werden.

8.3.2.2 Die Vorratsbehälter (Tanks) für das fertige Injektionsgut müssen sicherstellen, dass rheologische oder andere Eigenschaften des Injektionsgutes während der Aufenthaltsdauer im Behälter nicht unzulässig verändert werden.

8.3.2.3 Die Behälter für chemisches Injektionsgut sollten aus Werkstoffen bestehen, die mit den verwendeten Chemikalien nicht reagieren.

8.3.2.4 Bei bentonithaltigem Injektionsgut sollte der Bentonit vor Zugabe der Bindemittel hydraulisch aufgeschlossen sein.

8.3.2.5 Die Dosierung der Bestandteile für das Injektionsgut muss mit kalibrierten Messgeräten so erfolgen, dass die angegebenen Toleranzen wie vorgegeben eingehalten werden.

8.3.2.6 Die Mischer sind so auszuwählen, dass eine gleichmäßige Durchmischung erreicht wird.

8.3.2.7 Um die ununterbrochene Versorgung mit partikulärem Injektionsgut zu ermöglichen, sollte zwischen Mischern und Pumpe(n) ein Zwischenbehälter vorhanden sein. Die Mischung im Zwischenbehälter sollte gerührt werden, um eine Entmischung und/oder ein vorzeitiges Abbinden zu vermeiden.

8.3.2.8 Injektionsgut mit einer geringen Abbindedauer sollte so nahe wie möglich am Injektionspunkt gemischt werden.

8.3.3 Pumpen und Verteilung (in Leitungen)

8.3.3.1 Die Pumpen für das Injektionsgut und die Injektionssysteme sind abgestimmt auf das vorgesehene Injektionsverfahren auszuwählen.

8.3.3.2 Bei Auswahl der Pumpen sollten folgende Punkte beachtet werden:

- regelbare Pumpgeschwindigkeit für das Injektionsgut;
- Auslegung der Pumpe so, dass innerhalb einer vorgesehenen Zeit ein ausreichendes Injektionsvolumen oder ein ausreichender Injektionsdruck erreicht wird;
- Regelung der Injektionsgeschwindigkeit;
- für abrasives Injektionsgut Einsatz von Pumpen mit geringem Verschleiß (z. B. Tauchkolbenpumpen);
- leichte Reinigung und Wartung;

- Wahl der Ventildurchmesser unter Berücksichtigung der Viskosität des injizierten Materials.

8.3.3.3 Der Injektionsdruck sollte möglichst nahe an der Stelle gemessen werden, an der die Einbringung des Injektionsgutes erfolgt.

8.3.3.4 Die Injektionssysteme müssen Druckstöße dämpfen, damit eine ungewollte und unerkannte Bildung hydraulischer Risse vermieden wird.

8.3.3.5 Falls die Anlage zur Herstellung des Injektionsgutes vom Injektionsort weit entfernt ist, sollte eine Zwischenstation vorgesehen werden.

8.3.3.6 Druckleitungen (Druckrohre) für das Injektionsgut müssen so ausgelegt werden, dass sie mit einem ausreichenden Sicherheitsfaktor dem höchsten erwarteten Pumpdruck standhalten. Ihr Durchmesser muss Durchflussraten ermöglichen, die ausreichend hoch sind, um eine Entmischung des Injektionsgutes (Suspensionen) zu vermeiden.

8.3.3.7 Bei Verwendung von Manschettenrohren sollte das Innere des Injektionsrohres nach jeder Injektionsphase gespült werden.

8.3.3.8 Suspensionen müssen bis zum Einbringen des Injektionsgutes gerührt werden, um Sedimentation zu vermeiden. Lösungen, die zur Entmischung neigen, müssen ebenfalls bis zur Einbringung des Injektionsgutes in Bewegung gehalten werden.

8.3.3.9 Bei niedrigen Injektionsgeschwindigkeiten sollte ein Rückleitungssystem verwendet werden, damit das Absetzen von Feststoffen vermieden wird.

8.4 Injektion

8.4.1 Das Injektionsverfahren wird durch die Baugrundverhältnisse, die Anforderungen des jeweiligen Arbeitsauftrages und die Art des verwendeten Injektionsgutes bestimmt. Es gibt folgende grundlegende Verfahren:

- a) Injektion über ungestützte Bohrlöcher in standfestem Untergrund;
- b) Injektion über Manschettenrohre, die vorgängig in temporär verrohrte Bohrlöcher in nicht standfestem Untergrund eingebaut wurden;
- c) Injektion durch Bohrgestänge im nicht standfesten Untergrund, im allgemeinen als Vorphase für die Injektion betrachtet, auf die ein Vorgehen nach a) oder b) folgt;
- d) die Verdichtungsinjektion erfolgt im allgemeinen über eine Verrohrung, die gleichzeitig mit dem Ziehvorgang stufenweise von unten nach oben verpresst wird.

Die allgemeinen Ausführungsmöglichkeiten in Lockergestein und Fels werden in Tabelle 4 zusammengefasst, wobei die Injektionsstufe als eine zuvor festgelegte Länge definiert ist, die entweder durch einen Doppelpacker oder durch einen Einfachpacker und die Bohrlochsohle begrenzt wird.

Tabelle 4 – Injektionsstrategien

Injektion	Fels			Boden		
	standfest	nicht standfest		Bohrgestänge	Manschettenrohr	Rammlanze oder Casing
	Offenes Bohrloch	Manschettenrohr				
Einstufeninjektion	X			X	X	X
Mehrstufeninjektion			X		X	
Aufsteigende Injektionsstufe	X		X	X	X	X
Absteigende Injektionsstufe		X	X		X	X

8.4.2 Das Injektionsgut kann in Lockergestein durch Casing, Hüllrohre, gelochte Verrohrung und Manschettenrohre eingebracht werden.

8.4.3 Mit Manschettenrohren, die durch Anwendung einer Ummantelungsmischung dauerhaft in den Baugrund eingebettet sind, ist eine wiederholte Benutzung der Injektionsstellen möglich.

8.4.4 Beim Injizieren in Lockergestein sollten benachbarte Manschettenrohre als Vorsichtsmaßnahme gegen ein Übertreten von Injektionsgut gespült werden.

8.4.5 Große Hohlräume (kleine oder große Öffnungen, Kavernen usw.) werden im allgemeinen drucklos verfüllt; entweder direkt oder über ein Trichterrohr, das bis auf das Tiefste des Hohlraumes reicht.

8.4.6 Packer werden verwendet, um die einzelnen Injektionsstufen voneinander zu trennen. Packer sind entweder passiv, mechanisch oder pneumatisch; sie müssen lang genug sein, um die Gefahr einer Unläufigkeit des Injektionsgutes durch den zu behandelnden Baugrund zu minimieren.

8.4.7 Packer müssen bei maximalem Injektionsdruck eine gute Abdichtung zwischen Bohrlochwand und Injektionsrohr darstellen.

8.4.8 In Fällen, wo das Injektionsgut die Tendenz hat, den Packer zu umlaufen, besonders bei Injektion in aufsteigenden Stufen, sollte eine Sekundärspülung das umläufige Injektionsgut aus dem Bohrloch waschen.

8.4.9 Die maximale Länge einer Injektionspasse sollte bei Injektionen in Fels 10 m nicht überschreiten. In stark klüftigem oder gestörtem Gebirge sollte die Länge der Injektionsstufen entsprechend angepasst werden. In Lockergestein sollte die Länge der Injektionsstufen nicht größer als 1 m gewählt werden.

8.4.10 Bei Injektionen in Baugrund mit vermuteten oder bekannten Grundwassergradienten sollte eine starke Verdünnung oder der vollständige Verlust des Injektionsgutes verhindert werden. In Abhängigkeit von Baugrundbedingungen, angestrebtem Ziel und Grundwasserfließrate sollten zu diesem Zweck folgende Vorsichtsmaßnahmen ergriffen werden:

- Einsatz von schnell oder gar spontan abbindendem Injektionsgut (z. B. wasserreaktive Harze, Injektionsgut auf Zementbasis mit Natriumsilikat);
- Verwendung von viskosem Injektionsgut oder/und Injektionsgut mit einem hohen Anteil an Feststoffen;
- Beigabe von Zusätzen, welche der Verdünnung des Injektionsgutes entgegenwirken.

8.4.11 Bei Klüftinjektion in trockenem, saugfähigem Fels sollte nicht-ausblutendes Injektionsgut gewählt werden.

8.4.12 Die Injektionsparameter (Druck, Volumen und Durchflussrate) sind so anzupassen, dass unzulässige Verformung und Baugrundverdrängung vermieden werden, außer wenn dies ausdrücklich beabsichtigt ist. Besondere Vorsicht ist in der Umgebung empfindlicher Bauwerke anzuwenden.

8.4.13 Bei der Poreninjektion hängt die Durchflussrate von der Größe der Zwischenräume und der Viskosität des Injektionsgutes ab.

8.4.14 Während der Einbringung und bei der Handhabung des Injektionsgutes und seiner Bestandteile ist darauf zu achten, dass Flüssigkeit oder Injektionsgut nicht verschüttet wird oder aus dem Einsatzbereich wegrinnen kann.

8.5 Injektionsabläufe

8.5.1 Die Planung von Injektionsarbeiten ist ein interaktiver, fortschreitender Prozess, der ein ständiges Baumanagement erforderlich macht. Entscheidungen sowohl über Veränderungen der Verfahren oder Parameter, die bei der Planung und in den Verfahrensanweisungen festgelegt wurden, als auch über Fortführung oder Beendigung der Injektionsmaßnahmen müssen von allen beteiligten Parteien gemeinsam getroffen werden.

8.5.2 Die stufenweise nach unten fortschreitende Injektion ist im allgemeinen auf die Behandlung von nicht standfestem Fels beschränkt. Werden mehrere Bohrlöcher nach diesem Verfahren injiziert, ist zunächst der oberste Abschnitt in allen Bohrlöchern zu bohren und zu injizieren, bevor in allen benachbarten Bohrlöchern der nächste Abschnitt gebohrt und behandelt wird.

Die Injektion von unten nach oben wird nur in standfestem Fels angewendet oder wenn der Zweck eine Verdichtungsinjektion ist.

Eine Mehrstufeninjektion mit Manschettenrohren wird im allgemeinen in Lockergestein und mitunter in nicht standfestem Fels angewendet.

Die aufgeführten Techniken können kombiniert angewendet werden.

8.5.3 Für Injektionen in Fels darf ein Verfahren mit halbiertem Bohrlochabstand angewendet werden, bei dem zunächst Primärlöcher gebohrt und injiziert werden, bevor später Sekundär- und schließlich Tertiär- oder sogar Quartärlöcher hergestellt und ebenfalls injiziert werden, so dass nur kleine Bereiche gleichzeitig abgedeckt werden und engere Bohrlochanordnungen auf jene Bereiche beschränkt bleiben können, in denen sie sich mit fortschreitender Erfahrung als notwendig erweisen.

8.5.4 Der Abstand der Primärbohrlöcher muss auf Grundlage von Erfahrungen oder den Ergebnissen von Injektionsversuchen festgelegt werden.

8.5.5 Bei Anwendung des Verfahrens mit halbiertem Bohrlochabstand sollten ausgewählte Primärbohrlöcher zunächst als Aufschluss injiziert werden, außer in Bereichen, in denen zuvor Injektionsversuche vorgenommen wurden, um damit:

- eine bessere Beschreibung der geologischen und hydrologischen Bedingungen zu ermöglichen;
- die endgültige Tiefe der restlichen Primärlöcher festzulegen.

8.5.6 Um die laterale Migration des Injektionsgutes auf die dafür vorgesehene Behandlungszone zu begrenzen, sollten die Injektionen von außen (von der Grenze des für die Behandlung vorgesehenen Bereiches) beginnen und progressiv nach innen fortgeführt werden. Von diesem Vorgehen sollte abgewichen werden, wenn die Gefahr besteht, dass Grundwasser eingeschlossen wird oder wenn als Ziel festgelegt wurde, Wasser aus dem zu behandelnden Bereich zu verdrängen.

9 Bauüberwachung, Prüfungen und Kontrollen

9.1 Allgemeines

9.1.1 Die Beaufsichtigung des Injektionsprozesses muss auf den Planungsvorschriften basieren. Beim Beaufsichtigungsverfahren sind Unterlagen zu erstellen, die sich auf die genaue Beobachtung aller Injektionsphasen stützen. Die Unterlagen bilden die Grundlage für alle Modifikationen der Planungsvorschriften.

9.1.2 Während der Ausführung müssen Annahmen, von denen in der Planungsphase ausgegangen wurde, den erfassten Daten entsprechend bestätigt und im Bedarfsfall verändert werden.

9.2 Beaufsichtigung

9.2.1 Alle Injektionsarbeiten sollten durch erfahrene Vertreter aller Vertragspartner beaufsichtigt werden.

9.2.2 Alle Personen in Schlüsselpositionen müssen Erfahrungen mit Injektionsarbeiten haben.

9.2.3 Die Ausführung der Arbeiten ist kontinuierlich zu überwachen; alle Beobachtungen sind mit den Planungsparametern und Annahmen zu vergleichen. Falls die Beobachtungen merklich von den Planungsdaten abweichen, sind die Gründe für die Abweichung zu erforschen und die Parameter für Entwurf oder Ausführung an die neuen Bedingungen anzupassen.

9.2.4 Die Planer sind an der Entscheidung für Anpassungen der Vertragsvorschriften zu beteiligen.

9.2.5 Die Beaufsichtigung von Injektionsbaustellen sollte durch Automatisierung der Misch- und Verteilungssysteme und durch Installation mechanischer, analoger oder vorzugsweise rechnergestützter Aufzeichnungsgeräte für Echtzeit-Überwachung und Kontrolle der Verarbeitungsparameter beim Injizieren erleichtert werden.

9.2.6 Während der gesamten Injektionsarbeiten sind Aufzeichnungen zu führen, die für sämtliche Injektionsphasen alle Daten aufzeigen.

9.2.7 Zusammenfassende Aufzeichnungen über alle Injektionsphasen sollten im Abschlussbericht enthalten sein.

9.3 Überwachung und Kontrolle

9.3.1 Allgemeines

9.3.1.1 Vor Beginn der Arbeiten sollte eine Aufnahme über Lage und Zustand aller Bauwerke und Versorgungsanschlüsse erstellt werden, die wahrscheinlich im Einflussbereich der Injektionsarbeiten liegen. Weitere Aufnahmen sollten während der Arbeiten erstellt werden.

9.3.1.2 Art, Umfang und Genauigkeit der Überwachungsanforderungen außerhalb und auf der Baustelle sind in den Planungsunterlagen und vor Beginn der Arbeiten auf der Baustelle eindeutig festzulegen.

9.3.1.3 Rechnergestützte Systeme sollten angewendet werden, um:

- das Bohren der Bohrlöcher zu überwachen;
- die Bohrparameter zu messen, zu kontrollieren und auszuwerten;
- die Injektionsparameter unterschiedlicher Injektionsgüter je Injektionsabschnitt zu messen und zu kontrollieren.

9.3.1.4 Die Parameter, die während des Injektionsvorganges überwacht, aufgezeichnet und analysiert werden sollten, unterliegen ständig zeitlichen Schwankungen. Daher sollte der Injektionsvorgang überwacht und vorzugsweise durch eine Einrichtung zur Datenerfassung oder einen Feldcomputer kontrolliert werden, um in Echtzeit den Werten für die Injektionsparameter zu folgen.

9.3.1.5 Die rechnergestützte Kontrolle sollte Hardcopy-Ausdrucke oder Sicherungskopien ermöglichen, welche an sicheren Orten aufbewahrt werden sollten.

9.3.1.6 Überwachungs- und Kontrollmessungen sollten entsprechend den Projektanforderungen (Planung) durchgeführt werden.

9.3.1.7 Wenn auf der Baustelle Datalogger oder Feldcomputer eingesetzt werden, sollten die Messintervalle entsprechend den Projektanforderungen festgelegt werden.

9.3.1.8 Um den Erfolg der Injektion zu bestimmen, sollten geeignete (festgelegte) Kontrollprüfungen zum frühestmöglichen Zeitpunkt durchgeführt werden, um auf Anomalien möglichst rasch reagieren zu können.

9.3.1.9 Die relative zeitliche Entwicklung von Injektionsdrücken, injizierter Menge und Durchflussrate sollte für jede Injektionsabfolge aufgezeichnet werden und eine laufende Vergleichsmöglichkeit bei Fortschreiten der Arbeiten bieten.

9.3.2 Auswirkungen auf die Umwelt

9.3.2.1 Die Beurteilung aller Umweltbeeinflussung und besonders die Entscheidung über zulässige Grenzwerte sollten auf zwei weitgehend unabhängigen Untersuchungen beruhen:

- Vor Beginn aller Arbeiten sollte der Ist-Zustand beurteilt werden, wobei besonders die Grundwasserbedingungen (Chemie, Geschwindigkeit und Richtung des Grundwasserfließens, vorhandene und vorgesehene Nutzung des Grundwassers und Abstand zwischen Wasserentnahmestellen) zu beachten sind;
- die zu erwartende Verschmutzung durch das Injektionsgut und die Verschmutzungsdauer (bei zeitlich begrenzten Einflüssen sind weniger strenge Grenzwerte anwendbar) sollten bestimmt werden, wobei zwischen gasförmigem, flüssigem und festem Zustand zu unterscheiden ist.

9.3.3 Kontrolle der Ziele

9.3.3.1 Die Wahl der Kontroll- und Prüfverfahren hängt vom Ziel der Behandlung ab.

9.3.3.2 Sowohl vor als auch nach der Injektion sollten Durchlässigkeitsversuche durchgeführt werden, um den Erfolg der Injektion zu überprüfen.

9.3.3.3 Versuche können aus K-Wert-Versuchen, mechanischen Versuchen in situ oder im Labor, Aushub usw. bestehen.

9.3.3.4 Die Auswahl der Durchlässigkeitsversuche ist vom Baugrundzustand und von der geforderten Genauigkeit abhängig. Versuche mit steigendem oder fallendem Wasserstand (Lefranc-Versuch) werden häufig in körnigen Böden durchgeführt. In Fels werden Lugeon-Versuche ausgeführt. Umfangreiche Pump- oder Injektionsversuche können die regionale Durchlässigkeit für einen großen Injektionskörper aus Lockergestein oder Fels bestimmen.

9.3.3.5 Die beim Bohren aufgezeichneten Daten können zur Überprüfung des Injektionserfolges verwendet werden.

9.3.4 Aufzeichnungen der Baugrundbewegung

9.3.4.1 Zur Überwachung der Baugrundbewegungen sollten Geräte mit ausreichender Genauigkeit installiert werden, die geeignet sind, Boden- und/oder Bauwerksbewegungen zu messen, so dass festgelegte Bewegungstoleranzen nicht überschritten werden.

9.3.4.2 Bei Bedarf sind die Geräte zur Überwachung der Bodenbewegung rechtzeitig vor Beginn der Injektionsarbeiten zu installieren, um Hintergrundeinflüsse (Temperaturschwankungen, Veränderungen des Grundwasserstandes usw.) zu erkennen und ihren Einfluss auf die späteren Messwertablesungen auszugleichen.

9.3.5 Bohrlochherstellung

9.3.5.1 Während des Bohrens können eine Anzahl von Parametern automatisch aufgezeichnet werden:

- Bohrfortschritt;
- Spülungsdruck;
- Spülungsrate;

- reflektierte Energie;
- Drehzahl;
- Drehmoment;
- Andruckkraft;
- Bohrlochtiefe.

Die Auswertung der aufgezeichneten Parameter bietet nützliche Informationen über geologische und geotechnische Veränderungen.

9.3.6 Injektionsgut

9.3.6.1 Vorgaben zu Qualität und Konsistenz des Injektionsgutes sind dadurch sicherzustellen, indem während der Arbeiten Kontrollprüfungen zur Überwachung der ständigen Einhaltung der verlangten Kennwerte durchgeführt werden.

9.3.6.2 Die Granulometrie der Feinstbindemittel-Suspensionen sollte unter Berücksichtigung der Koagulation kontrolliert und überwacht werden.

9.3.6.3 Auf der Baustelle muss das Injektionsgut mindestens den regelmäßigen Kontrollprüfungen nach Tabelle 5 unterzogen werden.

In erhärtetem partikulärem Injektionsgut sind Druck- und/oder Scherfestigkeit zu prüfen. Versuche siehe auch Tabelle A.1.

9.3.6.4 Die Dosierung und Herstellung der Mischungs-Chargen müssen ständig überwacht und aufgezeichnet werden.

9.3.6.5 Während der Injektion sind die Bestandteile des Injektionsgutes und die hergestellte Menge zu registrieren.

9.3.6.6 Um das Vorhandensein von Injektionsgut im behandelten Baugrund anzuzeigen, können Versuche mit chemischen Spurenindikatoren durchgeführt werden.

10 Aufzeichnungen

10.1 Auf der Baustelle sollten folgende Unterlagen verfügbar sein:

- geotechnischer Referenz- und Grundlagenbericht, der alle für die Planung der Injektionsarbeiten wichtigen Untersuchungsdaten enthält;
- Organisationsdiagramm, welches eindeutig die Verantwortlichkeiten aller Vertragspartner des für die Arbeiten wichtigen Personals festlegt;
- Verfahrensweisung, die alle Ziele der Injektionsarbeiten und Einzelheiten zu den zu ihrer Verwirklichung notwendigen Abläufen festlegt und dazu messbare Kriterien vorschlägt, nach welchen der Erfolg festgestellt werden kann. Die Verfahrensweisung wird von den verantwortlichen Beteiligten als Grundlage für den Beginn der Arbeiten vereinbart und enthält:
 - einen Plan, der alle Bohrlöcher (Grundriss- und Schnittdarstellungen), vorhandene Bauwerke, geologische Formationen, Wasserstände, vorgesehene Arbeiten und Grenzen der Behandlung auführt;

- ein Dokument, in dem die Arten des Injektionsgutes, die vorgesehenen Mengen des je Injektionsabschnitt in jedes Bohrloch einzubringenden Injektionsgutes, Abfolge der Injektion, maximal erwartete Drücke und Injektionsraten angegeben sind;
- Aufzeichnungen zur Überwachung auf der Baustelle, Instandhaltung und andere Tätigkeiten nach Übergabe der Baustelle.

10.2 Folgende Unterlagen sollten auf der Baustelle erstellt werden:

- tägliche Aufzeichnung der Beobachtungen beim Bohren und Einbringen des Injektionsgutes;
- monatliche Aufzeichnung über den täglichen Fortschritt und Injektionsgut-Verbrauch;
- Abschlussbericht mit allen sachgemäßen technischen und mengenmäßigen Details;
- Übergabebericht bei Beendigung der Arbeiten, in dem die Vertragspartner bestätigen, dass die in der Verfahrensanweisung festgelegten Abnahmekriterien erreicht wurden.

10.3 In den Baustellenberichten müssen aufgeführt werden:

- Allgemein:
 - Angaben zu den Bauleistungen;
- Bohren:
 - Bohrloch-Nummer (Injektionsstelle) und Lage (Position), Tiefe, Durchmesser;
 - Namen der Bohrmeister;
 - Bohrverfahren und Bohrgerät;
 - Art der Spülflüssigkeit;
 - Bohrlocheinbauten (wie Verrohrung, Manschettenrohre, Art der Ummantelungsmischung usw.);
 - Besondere Beobachtungen während des Bohrens oder beim Ausrüsten der Bohrung (z. B. Spülverlust, unerwarteter Verbrauch an Mantelmischung);
- Mischen und Injektion:
 - Rezeptur des Injektionsgutes (Art und Mischanteile) und Kennwerte;
 - verpresste Injektionsgutmengen (Verbrauch), Druck und Injektionsdauer jeder Pässe;
 - Wechselwirkung mit anderen Bohrlöchern und beobachtete Umläufigkeiten;
 - jedwede ungewöhnlichen Vorkommnisse und Beobachtungen;
- Kontrolle:
 - Probenahme des verwendeten Injektionsgutes;
 - Probenummerierung für das Labor;
 - Routinemäßige Qualitätskontrolle;
 - Namen der Mitarbeiter (und ihre Qualifikation).

Diese Aufzeichnungen müssen die Grundlage für die Kontrolle der Injektionen bilden.

Tabelle 5 – Injektionsgut – Kontrollen

Suspensionen	Feinstbindemittel-Suspensionen	Lösungen (chemisches Injektionsgut)	Mörtel
Dichte	Dichte	Dichte	Dichte
Marsh-Viskosität	Körngröße/Sandsäulenversuch	Abbindedauer	Verarbeitbarkeit
Abbindedauer	Viskosität		
Bluten	Bluten		

10.4 Erforderlichenfalls sind Aufzeichnungen über das Nivellement des Baugrundes zu führen.

10.5 Die Ergebnisse der Injektionen sollten graphisch und, wenn angebracht, statistisch zusammengefasst werden, z. B. in Form von Diagrammen des Druckes über der Zeit.

10.6 Besondere Vorkommnisse und Entscheidungen sowohl beim Bohren als auch bei der Injektion sind in besonderen Baustellenbüchern aufzuzeichnen.

10.7 Injektionsberichte sind auf der Baustelle anzufertigen und vom verantwortlichen Bauleiter oder seinem Stellvertreter zu unterschreiben.

11 Besondere Anforderungen

Dieser Abschnitt behandelt die für Injektionen spezifischen Fragen der Sicherheit auf der Baustelle und des Umweltschutzes. Für allgemeine Richtlinien dazu sind die betreffenden Europäischen und nationalen Normen heranzuziehen.

11.1 Sicherheit des Personals

11.1.1 Die Sicherheit des Personals und Dritter ist von primärer Bedeutung.

11.1.2 Bei der Verwendung von Injektionsgut sollten folgende mögliche Probleme berücksichtigt werden:

- Staub von pulverigen Chemikalien, der für die Haut, Augen oder beim Einatmen giftig ist;
- Dämpfe von flüssigen Injektionsmischungen;
- Injektionsmischungen oder Bestandteile des Injektionsgutes, die bei Kontakt mit der Haut Verletzungen verursachen;
- Verunreinigung des Grundwassers;
- Mischen von Chemikalien, welche Explosionen verursachen können;
- Entsorgung von Abfall oder Abwasser.

11.1.3 Bei allen Injektionsarbeiten sind stets Schutzkleidung und -handschuhe zu tragen, weil die meisten chemischen Injektionsgüter für die Haut schädliche Bestandteile enthalten. Für Arbeiter, die in geschlossenen Räumen arbeiten, in denen Dämpfe des Injektionsgutes oder Staub von Bestandteilen des Injektionsgutes eingeatmet werden können, müssen Atemmasken verfügbar sein. Für alle Arbeiter auf der Baustelle müssen Schutzhelme zur Verfügung stehen. Sicherheitsbrillen müssen in

den Bereichen vorhanden sein, wo Injektionsgut verarbeitet wird.

11.1.4 Große Chargen von Epoxid- oder Polyesterharz erzeugen oft beträchtliche Wärme und sollten deshalb besonders sorgfältig gehandhabt werden.

11.2 Umweltschutz

11.2.1 Einflüsse auf die Umwelt, besonders die Toxizität des Injektionsgutes und seiner Bestandteile sowie ihre Wirkungen auf den Untergrund und das Trinkwasser sollten vor der Injektion bedacht werden.

11.2.2 Bei der Prüfung des Umwelteinflusses von Injektionsmaterialien sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- ob während der Verarbeitung, des Transportes oder der Injektion Stoffe erzeugt oder freigesetzt werden können, die Gefährdungen der Umwelt oder des mit den Injektionsarbeiten beauftragten Personals bewirken können;
- ob sich umweltschädigende Stoffe durch Mischen mit Grundwasser ausbreiten können;
- ob Reaktionsprodukte erzeugt oder freigesetzt werden können, die auf die Wasserbeschaffenheit Einfluss nehmen;
- die Art der Teilchen, die vom erhärteten Injektionsgut erodiert werden;
- chemische Reaktionen zwischen erhärtetem Injektionsgut und Grundwasser.

11.2.3 Gefahren für die Umwelt auf der Baustelle bestehen durch:

- Auslösen von Baugrundbewegungen;
- Veränderungen des Grundwasserstandes;
- Ausbreiten von Injektionsgut;
- Verunreinigung des Grundwassers;
- Verteilung durch die Luft (Staub).

Vorkehrungen zur Entsorgung von überschüssigem Injektionsgut sollten vor Beginn der Arbeiten getroffen werden; rechtzeitige Vorsorge sollte auch folgenden Punkten gewidmet werden:

- Belüftung geschlossener Räume;
- Tropffassen für Injektionsgut unter Pumpen;
- getrennte Lagerung brennbarer Materialien;
- Abwassersammlung.

Anhang A (informativ)

Messung von Injektionsparametern

In Tabelle A.1 werden Messbedingungen, Messgeräte, Prüfverfahren und Einheiten für die wichtigsten Parameter jeder Klasse von Injektionsgut angegeben.

Tabelle A.1 – Messung von Injektionsparametern

Parameter	Einheit	Meßgeräte/Meßverfahren	Anwendung	Lösung	Suspension	Mörtel	Bemerkung
1 Ausfließzeit (Trichterviskosität)	s	Marsh-Trichter (Trichterdurchmesser = 4,75 mm), andere Fließtrichter (Durchmesser = 8 mm, 10 mm, 12 mm)	Labor und Baustelle	N/A	A	A	Siehe R1
2 Viskosität (dynamische oder scheinbare)	kPa · s	Koaxiales Viskosimeter Rheometer	Labor Labor und Baustelle	A	A	N/A	Siehe R1 und R2
3 Dichte	kg/m ³	Pyknometer Becherglas Baroidwaage	Labor und Baustelle	A	A	A	
4 Kohäsion, Fließgrenze, Scherfestigkeit	Pa	Koaxiales Viskosimeter, Rheometer, Tauchplattengerät, Kasumeter, Shearometer	Labor Labor und Baustelle	N/A	A	N/A	Siehe R4
5 Wasserrückhaltekapazität	m ³	Baroid-Filterpresse (Niederdruck)	Labor und Baustelle	N/A	A	A	
6 Bluten, Sedimentation	% oder m ³ /m ³ über 2 Stunden	Messzylinder	Labor und Baustelle	N/A	A	A	Siehe R6
7 Verarbeitbarkeit	mm	Abrams-Trichter	Labor und Baustelle	N/A	N/A	A	Siehe R7
8 Abbindedauer	s	Gekipptes Becherglas (Kippversuch), Vicat-Nadel	Labor und Baustelle	A	A	A	Siehe R8
9 Aushärtungszeit	s	Flügelsondenversuch, Scherbox, Einaxialer Druckversuch	Labor und Baustelle	A	A	A	Siehe R9
10 Erhärten, Verformung, Endfestigkeit		Einaxialer Druckversuch mit Spannungs-Dehnungs-Auf- zeichnung, Triaxialversuch, Versuch mit Punktbelastung	Labor	A	A	A	Siehe R10
11 Erosionsbeständigkeit		Mechanisch: Durchflussversuch Chemisch		A	A	A	Siehe R11
12 Thixotropie		Rheometer, Viskosimeter, Hydrometer	Labor	N/A	A	N/A	Siehe R12
13 Synärese	% Volumen- anteil	Wassermenge, von der Probe mit der Zeit abgegeben	Labor	A	N/A	N/A	Siehe R13
14 Schwinden/Quellen	% Volumen, Länge	Bestimmung des Schwindmaßes	Labor und Baustelle	A	A	A	Siehe R14
15 Granulometrie		Messung der Teilchengrößen	Labor und Baustelle	N/A	A	A	Siehe R15
16 Eindringfähigkeit		Injektionstest Sandsäulenversuch	Labor und Baustelle	A	A	N/A	Siehe R16
(N/A = nicht anwendbar/allgemein nicht angewendet oder nicht zutreffend A = anwendbar)							

R1) Die rheologischen Eigenschaften des Injektionsgutes können mit folgenden Geräten bestimmt werden:

- Fließtrichter (Viskosität);
- Rotationsviskosimeter (Viskosität und Kohäsion);
- Tauchplatte oder Tauchrohr, Kugelharfengerät, Kasu-meter (Kohäsion).

Lufttemperatur, Temperatur des Injektionsgutes, Abmessungen des Fließtrichters, Füllhöhe und Ausfließvolumen sind anzugeben. Der ermittelte Wert ist eine Funktion der Viskosität und Kohäsion, und es sollte angemerkt werden, dass unterschiedliche Kombinationen von Viskosität und Fließgrenze zur selben Ausfließzeit führen können.

Die für die Verdichtungsinjektion verwendeten Mörtel werden hier nicht behandelt.

R2) Lufttemperatur und Temperatur des Injektionsgutes sind anzugeben. Die Viskosität kann für eine bestimmte Drehzahl oder ein bestimmtes Drehmoment ermittelt werden. Bei geringen Geschwindigkeiten sollten drehmomentkontrollierte Rotationsviskosimeter zur Bestimmung der Fließigenschaften und damit der Eindringfähigkeit des Injektionsgutes angewendet werden. Wenn auf der Baustelle keine koaxialen Viskosimeter verfügbar sind, darf eine Korrelation mit zuvor im Laboratorium ermittelten Werten verwendet werden.

R4) Bei der Planung sind die anzuwendenden Prüfgeräte und die zu erreichenden Werte festzulegen.

Die zur Messung der Kohäsion verwendeten Rheometer sollten drehmomentenkontrolliert sein.

R5) In der Planung müssen Prüfdruck und Prüfdauer festgelegt werden.

R6) Die Ausblutrate (Sedimentation, Bluten) ist mit Hilfe eines 1000-ml-Messzylinders mit einem Innendurchmesser von 60 mm zu bestimmen.

R7) Es ist das in EN ISO 4109 und in prEN 12382:1996 beschriebene Prüfverfahren anzuwenden.

R8) Die Abbindedauer ist temperatur- und volumenabhängig. Entsprechend der Art und Anwendung der Injektion gibt es unterschiedliche Prüfungen zur Ermittlung des Abbindens:

- Prüfung durch Kippen oder Umdrehen eines Becherglases, wobei beobachtet wird, ab wann sich das Injektionsgut nicht mehr wie eine Flüssigkeit verhält;

- Prüfung durch leichtes Schütteln des Prüfgefäßes, um festzustellen, ob sich das Injektionsgut oder das Gel von den Seiten löst;
- in kleinem Maßstab durchgeführte Eindringprüfung, z. B. mit beschwerter Vicat-Nadel.

Das anzuwendende Prüfgerät und die zu erreichenden Werte sind in der Planung anzugeben.

R9) Die Aushärungszeit muss im Bezug auf einen Bemessungswert für die Festigkeit festgelegt werden. Im Entwurf müssen die Probenabmessungen und der Versuchsablauf festgelegt sein (Belastungsgeschwindigkeit usw.).

R10) In der Planung sind die Abmessungen der zu untersuchenden Proben und die Prüfbedingungen festzulegen (Belastungsgeschwindigkeit usw.).

R11) Die chemische und mechanische Beständigkeit der Mischung und des erhärteten Injektionsgutes sind unter den auf der Baustelle u. a. angetroffenen pH-Werten zu untersuchen.

Die mechanische Widerstandsfähigkeit kann durch einen Durchflussversuch geprüft werden, bei dem Wasser durch ein Loch in einer Probe des erhärteten Injektionsgutes fließt und die Menge des in einem Behälter gesammelten Materials nach der Prüfung ausgewogen wird.

Die chemische Beständigkeit kann durch einen Zerreibversuch bestimmt werden, bei dem die Proben feinst zerrieben und für einige Tage in aggressivem Grundwasser aufbewahrt werden; dann wird das Volumen gemessen.

R12) Zur Bestimmung der Thixotropie muss das Rheometer in der Lage sein, zwei kontinuierliche Kurven aufzuzeichnen.

R13) Der Versuch ist auf Silikatgele anwendbar.

R14) Zur Bestimmung des Schwindmaßes und Quellmaßes sind nationale Normen zu verwenden.

R15) Dieser Parameter ist bei Verwendung von Feinstbindemittel von primärer Bedeutung. Die Vergrößerung der Körner des Injektionsgutes durch Hydratation ist bei der Ermittlung der Korngrößenverteilung der Mischungskomponenten zu berücksichtigen.

R16) Eindringfähigkeitsprüfungen können zum Nachweis der Fähigkeit von Injektionsgut zum Eindringen in einen bestimmten Baugrund oder als Mittel zur Qualitätskontrolle dienen. Ein Beispiel für Prüfungen der Eindringfähigkeit wird in der französischen Norm NF P 18 891 angegeben.

Anhang B (informativ)

Glossar

Das folgende Glossar enthält Begriffsbestimmungen, die für das Gebiet der Injektionen von Bedeutung sind und welche oft Gegenstand von Diskussionen sind oder zu Missverständnissen führen. Dieses Glossar ergänzt die unter Abschnitt 3 angeführten Begriffe.

Aktionsradius: Die theoretische Strecke, die das Injektionsgut ab der Injektionsstelle zurücklegt.

Zusatz (Zusatzstoff): Alle dem Injektionsgut zugesetzten Stoffe (z. B. Verflüssiger, Stabilisatoren), die zur Modifizierung der Eigenschaften des Injektionsgutes im flüssigen und im festen Zustand angewendet werden, mit Ausnahme der Grundbestandteile des Injektionsgutes (Wasser, Zuschläge oder zementhaltige Stoffe).

Rührbehälter: Behälter mit umlaufenden Schaufeln, die verhindern, dass nach der Herstellung des Injektionsgutes eine Phasentrennung stattfindet.

Flächeninjektion: Siehe „flächenhafte Injektion“.

Injektion von unten nach oben (en: ascending grouting): stufenweises Injizieren in Abschnitten (Passen) von unten nach oben, siehe en: „upstage grouting“.

Charge: Menge/Charge des in einem Arbeitsgang gemischten Injektionsgutes.

Bentonit: Hauptsächlich aus Mineralien der Montmorillonitgruppe bestehender Ton, gekennzeichnet durch eine hohe Wasseraufnahmekapazität und eine sehr grobe

Volumensveränderung bei Sättigung oder Austrocknen. Er enthält mindestens 70 % quellfähige Smektiten und seine Wasseraufnahmefähigkeit beträgt mehr als 500 %. Es wird zwischen natürlichen, natrium- oder calciumhaltigen, modifizierten und aktivierten Bentoniten unterschieden.

Bentonit-Zement-Mischung: Injektionsgut aus den Grundbestandteilen Bentonit, Zement und Wasser.

Bindemittel: Material, welches in locker strukturierten Stoffen Kohäsion bewirkt.

Binghamflüssigkeit: Stoff, der sowohl Viskosität als auch Kohäsion besitzt.

Flächenhafte Injektion: Herstellung eines Injektionskörpers, dessen horizontale Abmessung wesentlich größer als seine Dicke ist.

Bluten: Selbsttätige Abgabe des Anmachwassers in oder sein Austritt aus frisch eingebrachtem Injektionsgut.

Ausblutrate: Rate, mit der Wasser durch Ausbluten aus dem Injektionsgut freigesetzt wird.

Haftfestigkeit: Festigkeit zwischen Injektionsgut und Baugrund.

Casing (Verrohrung): Verrohrungsgarnitur zur Abstützung von nicht standfestem Baugrund beim Bohren.

Zementmischung: Injektionsgut mit Zement als primärem Bindemittel.

Chemisches Injektionsgut: Jegliches Injektionsmaterial, das charakteristischerweise eine Lösung ist und außer Verunreinigungen keine suspendierten Teilchen enthält.

Rücklaufinjektion: Injektionsverfahren, bei dem Injektionsgut einem Bohrloch oder mehreren Bohrlöchern zugeführt wird und das überschüssige Injektionsgut durch eine Rohrleitung zu einem Behälter zurückgeführt wird.

Kreislaufinjektion: Injektionsverfahren, bei dem das Injektionsgut durch ein bis zur Bohrlochsohle reichendes Rohr hinunter fließt und durch den Ringraum zwischen Rohr und Boden wieder nach oben steigt. Das überschüssige Injektionsgut wird in den Rührbehälter zurückgeführt. Die Kreislaufinjektion wird im nachbrüchigen Boden angewendet oder in Fällen, wo Injektionswege sich andernfalls durch eindickendes Material verstopfen würden.

Clauage oder Clauageinjektion: Siehe „hydraulische Rissbildung“ unter Definitionen (französische Terminologie).

Durchlässigkeitsbeiwert (hydraulische Leitfähigkeit): Bei laminarem Fließverhalten die Durchflussrate des Wassers durch die Querschnittsflächeneinheit eines porösen Baugrundes unter einem hydraulischen Einheitsgradienten und bei Standardtemperatur, im allgemeinen 20 °C. Die Permeabilität k ist eine Materialeigenschaft und wird in m^2 gemessen. Die hydraulische Leitfähigkeit ist die Proportionalitätskonstante K zwischen der Fließgeschwindigkeit v und dem hydraulischen Gradienten i und wird in m/s gemessen:

$$v = K \times i = k \left(\frac{g \times \rho}{\eta} \right) \times i$$

Kohäsion: Siehe Bild B.1

Kolloid: Stoff, der aus sehr kleinen, in einem kontinuierlichen Medium dispergierten Teilchen besteht. Die Größe eines Kolloidteilchens liegt nach allgemeiner Übereinkunft im Bereich zwischen 5 Ångström und 5 000 Ångström.

Kolloidales Injektionsgut: Injektionsgut mit künstlich erzeugter Kohäsivität, in der die festen Teilchen oder große Moleküle (Kolloide) vollständig dispergiert sind und in Suspension bleiben, d.h. eine Injektionsmischung, die keine Entmischung oder Bluten zeigt.

Verdichtungsinjektion: Siehe 3.1.2.

Kompensationsinjektion: Ausdruck für eine kontrollierte Verdrängungsinjektion, welche zum Ziel hat, der durch Aushubarbeiten hervorgerufenen Setzung des Baugrundes entgegenzuwirken. „Kompensationsinjektion“ ist der übergeordnete Begriff für eine ganze Reihe von Injektionsverfahren.

Konsistenz: Relative Beweglichkeit oder Fließfähigkeit von frisch gemischtem Mörtel oder Injektionsgut. Übliche Verfahren zur Messung der Konsistenz sind der Ausbreitversuch für steife Mischungen und der Durchflussversuch für flüssigeres Injektionsgut.

Verfestigungsinjektion: Übergeordnete Bezeichnung für mehrere Injektionsverfahren einschließlich Poreninjektion (Imprägnation durch Porenverfüllung), Kluftinjektion, Hohlraumverfüllung, hydraulische Rissbildung und Verdichtungsinjektion, die alle das Ziel haben, Lockergestein oder Fels zu verfestigen.

Kontaktinjektion: Siehe 3.1.3.

Kontinuierliches Mischen: Vorgang, bei dem die Zusatzstoffe ohne Unterbrechung zu Mischgut verarbeitet werden und das fertig gemischte Produkt in kontinuierlichem Fluss ausgestoßen wird.

Überdeckung: Siehe „Überlagerung“ (en: overburden).

D_n, d_n : Größter Durchmesser der kleinsten n % der Körner des Bodens und größte Abmessung der kleinsten n % der Teilchen des Injektionsgutes.

Absetzmaß: Siehe „Sedimentationsrate“.

Entwurfsmäßigkeit: Festigkeit, die erforderlich ist, um die Planungsanforderungen an das Injektionsgut oder den behandelten Baugrund zu erfüllen.

Verdrängungsinjektion: Siehe 3.1.4.

Doppelpacker: Einrichtung, die aus einem Paar von Dichtungen (Packern) besteht, das in einem bestimmten, zuvor festgelegten Abstand voneinander an einem Injektionsrohr so befestigt wird, dass die Einbringung des Injektionsgutes in den Baugrund zwischen diesen beiden Packern, d.h. die Packerlänge oder -stufe, eingegrenzt wird.

Injektion von oben nach unten: Injektionsverfahren, bei dem eine bestimmte Strecke (Stufe) zunächst gebohrt und injiziert wird, bevor das Bohrloch weiter abgeteuft wird oder Packer gesetzt werden, mit denen der Injektionsvorgang beginnend am Bohrlochkopf Schritt für Schritt der Bohrung folgend in die Tiefe fortschreitet.

Beständigkeit: Widerstand gegen mechanischen und chemischen Angriff. Die mechanische Beständigkeit wird im allgemeinen durch Prüfung der Beständigkeit entweder durch Wassersättigung oder anhand von Durchströmversuchen ermittelt, bei denen Formationswasser durch ein Loch in einer Probe aus zementiertem Bodenmaterial geleitet wird. Versuche zur chemischen Beständigkeit werden üblicherweise an Proben aus zementiertem Bodenmaterial durchgeführt, die in Formationswasser gelagert werden.

Wirksamer Druck: Siehe 3.1.5.

Emulgator: Stoff, der die Oberflächenspannung kolloidaler Tröpfchen derart modifiziert, dass er deren Koagulieren verhindert und sie in Suspension hält.

Emulsion: System, das dispergierte kolloidale Tröpfchen enthält.

Epoxidharzmischung (Kunsthartzinjektionsgut): Injektionsgut aus einem Mehrkomponenten-Harz, das üblicherweise sehr hohe Zug-, Druck- und Haftfestigkeiten (Adhäsionsfestigkeit) aufweist.

Falsches Abbinden: Rasche Erstarrung von frisch gemischtem Injektionsgut ohne merkliche Wärmeentwicklung. Die erlangte Steifigkeit ist reversibel, d. h. die Plastizität kann wiedererlangt werden, indem der Mischvorgang ohne Zugabe von Wasser fortgesetzt wird. Vorzeitige Steifigkeit, Zöger-Härtung, frühe Erstarrung und Gummi-Abbinden sind weitere Namen für die gleiche Erscheinung.

Füllstoff: Inertes Material, das dem Injektionsgut beigegeben wird, um seine Eigenschaften zu modifizieren oder einen Bestandteil zu ersetzen.

Filmzeit: Siehe „Abbindedauer“.

Filterkuchen: Konzentriertes festes oder halbfestes Material, das aus einer Flüssigkeit abgeschieden wird und nach Druckfiltration auf dem Filter zurückbleibt.

Filterpresse: Gerät, das zum Messen des Filterverlustes des Injektionsgutes verwendet wird.

Filtrationswasser: Flüssigkeitsmenge, die durch einen Filter in festgelegter Zeit während eines Filtrationsversuches austritt.

Endgültiges Abbinden: Höherer Steifigkeitsgrad einer Injektionsmischung als beim anfänglichen Abbinden, der im allgemeinen als empirischer Wert für die Zeit in Stunden und Minuten angegeben wird, bis sich Zementpaste so versteift, dass eine beschwerte Prüfnadel nicht mehr eindringen kann.

Kluftinjektion: Siehe 3.1.6.

Schnellabbindung (Blitzerstarrung): Rasche Erstarrung von frisch gemischtem Injektionsgut, im allgemeinen unter beträchtlicher Wärmeentwicklung. Die erlangte Steifigkeit ist nicht reversibel, d. h. die Plastizität kann nicht wiedererlangt, noch kann sie ohne Wasserzugabe durch Fortsetzen des Mischvorganges wiederhergestellt werden; schnelles Abbinden oder vorzeitiges Abbinden sind weitere Bezeichnungen der gleichen Erscheinung.

Fließtrichter: Gerät zur Messung der Konsistenz des Injektionsgutes, in welchem ein vorgegebenes Injektionsgut-Volumen durch eine genau dimensionierte Öffnung fließt, wobei die Ausfließzeit (der Fließfaktor) ein Maß für diese Konsistenz ist.

Durchflussrate: Volumen der Flüssigkeit (des Injektionsgutes), das je Zeiteinheit durch eine Flächeneinheit hindurchfließt.

Verflüssiger: Zusatzmittel zur Verbesserung der Fließeigenschaften des Injektionsgutes.

Flugasche: Feiner Rückstand aus der Verbrennung von gemahlener oder zerriebener Kohle. Vergleichbar mit pulverisierter Verbrennungsasche.

Schaum: Schäume für Injektionen sind feste Strukturen, die Luft einschließen, üblicherweise in geschlossenen Poren. Sie werden entweder erzeugt, indem ein Gas in das Injektionsgut injiziert wird, oder durch – eine unter Freisetzung eines Gases erfolgende – Reaktion zwischen Injektionsgut und Grundwasser.

Aufbrechen: Siehe „hydraulische Rissbildung“

Gel: Zustand, in dem flüssiges Injektionsgut beginnt, eine messbare Scherfestigkeit zu zeigen. Kolloidales Material, in dem die dispergierten Substanzen ein kontinuierliches, kohäsives, verzweigtes Netz bilden. Gel kann einen Flüssigkeitsanteil enthalten, besitzt jedoch auch Eigenschaften eines Feststoffes. Einige Gele können durch Bewegung oder Mischen in die flüssige Phase rückgeführt werden und bilden sich danach als Gel neu (siehe Thixotropie).

Gelstärke: Scherfestigkeit eines Gels. Sie kann innerhalb eines bestimmten Zeitintervalls nach dem Mischen oder dem Aufbrechen der Gelstruktur oder nach der vollständigen Entwicklung des Gels gemessen werden.

Gelzeit: Gemessener Zeitabstand zwischen dem Mischen des Injektionsgutes und der Bildung eines Gels.

GIN-Verfahren: GIN bedeutet so viel wie „Injektions-Intensitäts-Zahl“. Das Verfahren wird in der Felsinjektion eingesetzt, insbesondere beim Injizieren an Spalten und Klüften, und benutzt diese Zahl als Abbruchkriterium für den Injektionsvorgang durch Vorgabe eines maximalen GIN-Grenzwertes. Der Wert selbst ergibt sich aus der Multiplikation des Volumens an injiziertem Injektionsgut (in Liter) mit dem Injektionsdruck (in bar) je Bohrlochmeter.

Korngrößenverteilung: Verteilung nach dem Gewichtsanteil der im Boden vorhandenen Korngrößen, im allgemeinen als kumulativer Prozentanteil angegeben.

Drucklose Verfüllung: Siehe 3.1.7.

Injektionsgut: Siehe 3.1.8.

Injizierbarkeit: Eigenschaft eines Baugrundes, Injektionsgut aufzunehmen.

Injizierbarkeitsverhältnis: Verhältnis zwischen Teilchengröße des Injektionsgutes (Injektionsgut in Form einer Suspension) und Korngröße des zu injizierenden Bodens. Es werden die Verhältnisse $GR = D_{15}/d_{85}$ oder $GR = D_{10}/d_{90}$ verwendet, wobei D_x den Korndurchmesser darstellt, für den $x\%$ der Bodenteilchen kleiner sind und d_y die Korn-Abmessung ist, für die $y\%$ der Teilchen des Injektionsgutes kleiner sind.

Injektionsschirm: Injektionskörper, dessen vertikale Maße sehr viel größer sind als seine Stärke.

Zahl für die Injektionsintensität (GIN): Produkt aus Injektionsdruck und Injektionsvolumen.

Injektionsdruck: Siehe 3.1.9.

Injektionsversuch: Probeinjektion vor Beginn der eigentlichen Injektionsarbeiten, um die Injizierbarkeit eines Baugrundes oder die Eignung einer bestimmten Art von Injektionsgut einzuschätzen.

Injektionsmischung: Die Bestandteile einer Mischung, welche üblicherweise nach ihrem Gewicht oder nach ihrem Volumen oder als Anteil der Menge des Wassers oder anderer Hauptbestandteile angegeben werden.

Aufnahme (an Injektionsgut): Gemessene Menge des in eine Volumeneinheit des Baugrundes oder je Längeneinheit des Injektionsbohrlochs oder in ein ganzes Bohrloch eingebrachten Injektionsgutes.

Härter: In einer chemischen Zweikomponenten-Mischung jener Bestandteil, welcher die Erhärtung der Grundkomponente bewirkt.

Härtung: Zunahme der Festigkeit von Injektionsgut nach dem Abbinden.

Aushärtungszeit: Zeitspanne, in der das Injektionsgut die Entwurfsfestigkeit erreicht.

Hydratation: Bildung einer Verbindung, bei welcher Moleküle stoffliche Einheiten oder andere Substanzen unter Einbeziehung molekularen Wassers zu einem komplexen Molekül erfolgt.

Hydraulisches Bindemittel: Fein gemahlenes anorganisches Material, das bei Mischung mit Wasser eine Paste bildet, die durch Hydratation abbindet und erhärtet und nach dem Aushärten ihre Festigkeit und Beständigkeit auch unter Wasser beibehält.

Hydraulische Rissbildung: Siehe 3.1.10.

Hydrostatischer Druck (Druckhöhe): Flüssigkeitsdruck, der als äquivalente Höhe des Wassers über einem bestimmten Punkt angegeben wird.

Imprägnation: Siehe „Poreninjektion (Imprägnierung durch Porenverfüllung)“ unter 3.1.12.

Erstes Abbinden (anfängliches Erstarren): Steifigkeitsgrad einer Injektionsmischung, der im allgemeinen als empirischer Wert für die Zeit in Stunden und Minuten angegeben wird, bis sich Zementpaste so versteift, dass eine beschwerte Prüfnadel nicht mehr eindringen kann.

Injektion: Siehe Abschnitt 3.

Injektionsventil: Öffnungen entlang der Injektionsstrecke in einem Manschettenrohr, im allgemeinen mit einem verformbaren Stück Hüllschlauch so abgedeckt, dass eine Ventilwirkung entsteht.

Düsenstrahlverfahren: (Siehe prEN 12716) Vorgang, der darin besteht, dass Lockergestein (oder verwitterter Fels) hydraulisch zerlegt/aufgebrochen wird und mit einem Bindemittel vermischt und teilweise durch dieses Mittel ersetzt wird. Die Disaggregation wird durch einen energiereichen Flüssigkeitsstrahl bewirkt, wobei die Flüssigkeit das Zementierungsmittel sein kann.

Kasumeter: Gerät zur Ermittlung der Fließgrenze.

Filmaushärtungszeit: Siehe Abbindedauer.

Lefranc-Test: Ein In situ-Durchlässigkeitsversuch mit fallendem Wasserspiegel, bei welchem die Durchlässigkeit aus der beobachteten Veränderung des Wasserstandes in einem Standrohr bestimmt wird.

Lugeon-Wert: Relative Einheit der Transmissivität, welche der Wasseraufnahmerate von einem Liter je Minute und je Meter eines Bohrloches mit 76 mm Durchmesser bei einem Druck von 1 MPa im Fels entspricht.

Marsh-Trichter: Siehe Fließtrichter

Marsh-Viskosität: Ihre Bestimmung erfolgt mit dem Marsh-Trichter. Die in Sekunden angegebene Durchflussrate für ein bestimmtes Flüssigkeitsvolumen wird als Marsh-Viskosität bezeichnet. Siehe auch Fließtrichter.

Feinstbindemittel, mikrofeiner oder ultrafeiner Injektionsstoff: Sehr fein gemahlene Produkt, das eine gleichförmige, steile Kurve der Korngrößenverteilung aufweist, wobei $d_{95} < 20 \mu\text{m}$ ist.

Feuchtegehalt: Das als Prozentanteil angegebene Verhältnis des Wassergewichtes in einem bestimmten Injektionsmaterial zum Gewicht der trockenen Feststoffteilchen. Auch als Wassergehalt bezeichnet.

Mörtel: Injektionsgut mit hohem Feststoffanteil, welches Sand enthält.

Dickspülungs-Filterkuchen: Siehe Filterkuchen.

Neutralisationsgrad: In Silikatgelen das Verhältnis von neutralisiertem Natrium zum Härter.

Newtonsche Flüssigkeit: Echte Flüssigkeit, welche eine gleichbleibende Viskosität bei allen Scherraten aufweist. Eine Newtonsche Flüssigkeit hat keine Fließgrenze.

Verdrängungsfreie Injektion (Injektion ohne Baugrundverdrängung): Siehe 3.1.13.

Überlagerung: Jene Mächtigkeit an Fels- und Lockergestein, welche auf/über einer Injektionsstelle im Boden lastet.

Packer: In ein Bohrloch oder Manschettenrohr eingebrachte Vorrichtung, mittels welcher Teile des Bohrloches gegeneinander abgedichtet werden. Im allgemeinen ist ein Packer eine mechanisch, hydraulisch oder pneumatisch betätigte, aufweitbare Vorrichtung.

Korngrößenverteilung: Gewichtsverteilung der Teilchengröße des Injektionsmaterials, im allgemeinen als kumulativer Prozentanteil angegeben, der größer oder kleiner als ein bestimmter Siebdurchgang (Sieböffnungsweite) ist, oder als Prozentanteile zwischen bestimmten Siebdurchgangsbereichen (Sieböffnungsweiten).

Partikuläres Injektionsgut: Injektionsgut, das aus in Flüssigkeit schwebenden Feststoffteilchen besteht, die größer als Kolloide sind.

Injektionsabschnitt (Passe): Durchgehende Injektionsbehandlung einer bestimmten Bohrlochlänge.

Eindringfähigkeit: Fähigkeit eines Injektionsgutes, in einen Boden einzudringen.

Eindringinjektion: Siehe 3.1.11.

Durchlässigkeit: Maß dafür, wie leicht eine Flüssigkeit durch einen porösen Untergrund hindurchgeht. Siehe auch Durchlässigkeitsbeiwert.

Poreninjektion: Siehe 3.1.12.

Injektionsphase: Injektionstätigkeit als Teil einer Abfolge von Behandlungsschritten unter festgelegten Kriterien.

Polyurethane: Chemische Harze, die unter Schaumbildung reagieren. Ihre Viskosität ist weitgehend mit der von Epoxidharzen vergleichbar, und sie erhärten sehr rasch (0,5 min bis 10 h). Einkomponenten-Polyurethane erhärten nach Reaktion mit Wasser. Zweikomponenten-Polyurethane schäumen üblicherweise in Kontakt mit Wasser, wobei der Schaumbildungsvorgang eine Art Selbstinjektion bewirkt, bei der eine bessere Haftfestigkeit und eine gewisse Verformbarkeit sichergestellt werden.

Porosität: Im allgemeinen als Prozentanteil angegebenes Verhältnis des Volumens der Poren von Lockerboden oder Fels zum Gesamtvolumen der Masse dieses lockeren oder felsigen Untergrundes.

Topfzeit: Siehe Abbindedauer.

Puzzolan: Silicium- oder/und aluminiumhaltiges Material, welches allein eine nur geringe oder keine zementartige Ver kittung bewirkt, jedoch in fein verteilter Form und in feuchtem Milieu bei üblichen Temperaturen mit Calciumhydroxid chemische Verbindungen eingeht, welche zementartige Eigenschaften haben.

Pulverisierte Feuerungsasche (pfa): Nebenprodukt mit hohem Mineralstoffgehalt bei der Verbrennung von Kohle zur Energieerzeugung.

Harz: Material, das die Grundlage für ein organisches Injektionsgutsystem darstellt, z. B. Acryl, Epoxid, Polyester und Urethan.

Rheologische Eigenschaften: Eigenschaften, welche das Fließen von Flüssigkeiten oder plastischen Feststoffen charakterisieren und bestimmen.

Rheoptisch: Eigenschaft von Flüssigkeiten, die sich bei zunehmender Schergeschwindigkeit (Beanspruchung) in einer Zunahme der Viskosität (Strukturierung) äußert, wobei die Viskosität nach einer bestimmten Ruhezeit zu ihrem Ausgangswert zurückkehrt.

Rotationsviskosimeter: Mit diesen Viskosimetern werden Viskosität und Fließgrenze aus dem Zusammenhang zwischen Drehmoment und Drehzahl bzw. Scherspannung und Schergefälle bestimmt. Die Viskosität wird aus dem Verhältnis der Scherspannung und Schergefälle bestimmt.

Sedimentation: Schwerkraftbedingte Ansammlung von Teilchen des Injektionsgutes am Behälterboden, wenn das Injektionsgut nicht gerührt wird.

Entmischung (Segregation): Ungleichmäßige Verteilung der Teilchen im Injektionsgut oder Mörtel aufgrund von Sedimentation.

Behandlungsabfolge: Jene zeitliche Aufeinanderfolge, nach der verschiedene Arten Injektionsgut in die einzelnen Bohrlöcher über die Zeit injiziert werden, oder die geplante Aufeinanderfolge der Behandlungsschritte beim Injizieren.

Abbinden: Zustand des Injektionsgutes, nachdem es seine Plastizität bis zu einem festgelegten Grad verloren hat, im allgemeinen gemessen als Widerstand gegen Verformung oder gegen Eindringen (einer Messnadel); das anfängliche Abbinden bezieht sich auf die zunächst eintretende Versteifung; das endgültige Abbinden bezeichnet den später erreichten Zustand eines deutlich erhöhten Strukturwiderstandes.

Abbindedauer (Abbindezeit): Zeit zwischen dem Mischen und dem Erreichen einer deutlichen Veränderung der rheologischen Eigenschaften. Die Abbindedauer ist vom Volumen und von der Temperatur abhängig und wird auf verschiedene Arten gemessen.

Shearometer: Gerät zum Messen der Scherfestigkeit von Flüssigkeiten oder schwachen Gelen.

Scherfestigkeit: Spannung, bei der das Material der aufgebrachten Scherkraft nicht mehr standhalten kann.

Scherspannung: τ errechnet sich aus der Scherkraft je Flächeneinheit.

Schwinden: Verringerung des Volumens des Injektionsgutes.

Einzelpacker: Einzelner Packer, der nur aus einem einzigen Abdichtungselement besteht. Siehe Packer und Doppelpacker.

Ummantelungsmischung: Injektionsgut, das in den Ringraum zwischen Bohrlochwand und Manschettenrohr eingebracht wird.

Manschettenrohr: Ein in regelmäßigen Abständen gelochtes Injektionsrohr. Die Lochungen werden außen von verformbaren Manschetten abgedeckt, welche als Rückschlagventile wirken.

Manschettenrohrinjektion (TAM): Injektionsverfahren unter Verwendung von Manschettenrohren, die ein wiederholtes Einbringen des Injektionsgutes ermöglichen.

Ausbreitversuch (Slump Test): Versuch zur Beurteilung der Konsistenz eines Mörtels durch Anwendung eines Abrams-Trichters. Der Trichter wird bis zu einer bestimmten Höhe mit Mörtel gefüllt, umgestülpt und angehoben; der Abstand zwischen der ursprünglichen Höhe des Trichters und der Endhöhe des Mörtelhügels wird gemessen.

Lösung: Flüssigkeit, die durch die vollständige Auflösung einer Chemikalie in Wasser gebildet wird und eine homogene Flüssigkeit ohne feste Teilchen darstellt. Lösungen sind Newtonsche Flüssigkeiten ohne Steifigkeit oder Teilchen, die in einer bestimmten Zeit, der Abbindedauer, erhärten. Lösungen können echte oder kolloidale Lösungen sein. Kolloidale Lösungen enthalten große Moleküle in der Flüssigkeit.

Abstandhalbung: Verfahren, bei dem weitere für die Injektion vorgesehene Bohrlöcher mittig zwischen den bereits injizierten Bohrlöchern angeordnet werden.

Stabile Suspension: Siehe 3.1.14.

Injektionsstufen: Bestimmte Injektionslänge (Passe).

Passen-Injektion: Injektion eines Bohrloches in aufeinanderfolgenden Passen im Unterschied zur Injektion der gesamten Bohrlochlänge in einem.

Superplasticizer (Plastifizierungsmittel): Zusatzstoff zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit von Mörteln und zur Verringerung der Viskosität von Suspensionen.

Suspensionen: Mischung von flüssigen und festen Materialien. Ihr Fließverhalten entspricht dem einer Binghamflüssigkeit, d. h. sie besitzt sowohl Viskosität als

auch Kohäsion (Fließfestigkeit). Partikuläre Suspensionen enthalten Teilchen, die größer als Tonteilchen sind, während kolloidale Suspensionen Teilchen in der Größe von Tonteilchen aufweisen.

Suspendierungsmittel: Zusatzstoff, der das Absetzen der Teilchen in der Flüssigkeit verringert.

Synärese: Flüssigkeitsabgabe (üblicherweise in Form von Laugen) aus dem unbelasteten, abgeordneten Gel, begleitet von einem Schrumpfen des Gelkörpers. Synärese tritt über den Zeitraum einiger Monate auf.

Aufnahme: Siehe „Aufnahme an Injektionsgut“.

Thixotropie: Eigenschaft eines Materials, im Ruhezustand in einer relativ kurzen Zeit anzusteifen, beim Rühren oder anderweitiger Bewegung jedoch eine flüssige oder weiche Konsistenz zurückzuerlangen oder wieder zu einer hochviskosen Flüssigkeit zu werden, wobei der Prozess vollständig reversibel ist, d. h. die Viskosität thixotroper Flüssigkeiten verringert sich mit zunehmender Scherrate (Beanspruchung) und kehrt nach einer bestimmten Regenerationszeit zu ihrem Ausgangswert zurück. Flüssigkeiten, deren scheinbare Viskosität mit der Zeit zunimmt, werden thixotrop genannt. Thixotropie tritt im allgemeinen in nicht-Newtonischem Injektionsgut auf.

TPA-Verfahren: TPA steht als Abkürzung für „Analyse des transienten (instationären) Injektionsdruckes“. Die Methode wird in der Felsinjektion angewendet und beruht auf der Information, die man erhält, wenn man die Druckentwicklung nach „Einschließen“ der Injektionspasse beobachtet. Dabei wird die Injektionspumpe bewusst abgestellt und der abfallende Druck gegen die Zeit gemessen und aufgezeichnet.

Transmissivität: Die Transmissivität T in m^2/s ist die Durchflussrate des Wassers durch einen vertikalen, 1 m breiten Streifen Bodens, der sich über die vollständig gesättigte Höhe des Baugrundes erstreckt, wenn der hydraulische Gradient $i = 1$ ist. Er kann als Produkt aus der hydraulischen Leitfähigkeit K , die in Meter/Sekunde [m/s] gemessen wird, und der Höhe des Aquifers angegeben werden. Eine übliche Einheit für die Transmissivität des felsigen Baugrundes ist das Lugeon. Die Transmissivität von felsigem Baugrund in Lugeon-Einheiten wird als die Sickerströmung in Liter/Minute je Meter Länge des Bohrloches unter einem Druck von 1 MPa definiert.

Drucklose Injektion durch offenes Trichterrohr: Siehe „drucklose Verfüllung“.

Echte Lösung: Lösung, in der die Bestandteile zu 100 % im Grundlösungsmittel aufgelöst sind.

Einaxiale Druckfestigkeit: Last je Flächeneinheit, bei der eine seitlich nicht gestützte prismatische oder zylindrische Probe (Höhe = $2 \times$ Breite) aus dem zu untersuchenden Material bei einem einfachen Druckversuch versagt.

Injektion von unten nach oben: Für felsigen Baugrund übliches Injektionsverfahren, bei dem das Injektionsbohrloch bis zu seiner vollen Tiefe gebohrt wird; danach erfolgt die Injektion stufenweise von der Bohrlochsohle aufwärts.

Viskosität: Innerer Widerstand eines Fluids, der einer Substanz gegenüber der Neigung zum Fließen Widerstand verleiht. Es wird zwischen kinematischer Viskosität ν und dynamischer Viskosität η unterschieden, wobei $\nu = \eta/\rho$ gilt, wenn ρ die Dichte ist. Die scheinbare Viskosität ist der dynamischen Viskosität äquivalent, bezieht sich jedoch auf zeitlich präzise Punktergebnisse:

$$\mu_{app} = \frac{d\gamma}{dv} \tau_{shear}$$

Die scheinbare Viskosität μ_{app} , die in Pa · s gemessen wird, ist das Verhältnis aus Scherspannung τ und Scherrate $\dot{\gamma}$. In den meisten Lösungen hängt die Viskosität von der Scherspannung sowie davon ab, ob der Stoff gerührt wird. Bei starker Bewegung verringert sich die Viskosität eines Stoffes und strebt einem Minimalwert zu, der als plastische Viskosität bezeichnet wird. Für einige Stoffe, besonders für Newtonsche Flüssigkeiten, ist die Viskosität von der Scherspannung unabhängig, und das Verhältnis $\frac{\tau}{\dot{\gamma}}$ ergibt einen konstanten Wert, die absolute (dynamische) Viskosität η . Folglich trifft auf Newtonsche Flüssigkeiten, z. B. die bei Injektionen verwendeten echten Lösungen, das Konzept der plastischen Viskosität nicht zu. Die kinematische Viskosität ν , die in m^2/s angegeben wird, ist eine Funktion der Materialdichte $\nu = \mu/\rho$.

Hohlraumverfüllung: Siehe „Hohlraumverfüllung“ (en: bulk filling). Kein empfohlener Begriff.

Wasserspiegel: Die phreatische Oberfläche, an der Porenwasser- und Luftdruck gleich groß sind, d.h. der stationäre Wasserstand, der sich in einer ausgehobenen Baugrube einstellt.

W/Z-Wert: Das Verhältnis Wasser/Zement ist das Verhältnis des Gewichtes des Wassers zu der des trockenen Zementanteiles im Injektionsgut.

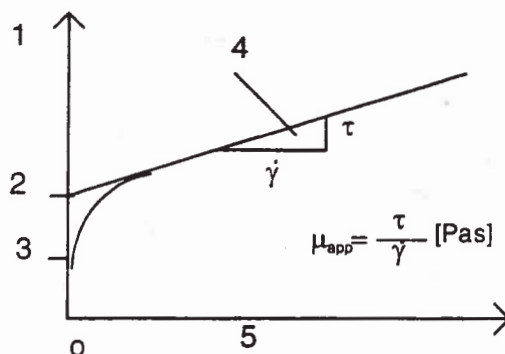
Wassergehalt: Siehe „Feuchtegehalt“.

Wasserrückhaltekapazität: Fähigkeit einer Suspension, Wasser zurückzuhalten, ohne dabei einem äußeren Druck ausgesetzt zu sein.

Fließgrenze (Fließspannung): Niedrigster Scherspannungswert, bei dem ein plötzlicher Abfall des Wertes für die aufgebrauchte Spannung auftritt; ab der Fließgrenze setzt bei mehr oder weniger gleicher Spannung ein fortgesetztes Fließen (Ausbreiten) ein. Die Fließgrenze,

Fließspannung oder Kohäsion τ_0 ist jene Scherspannung, bei der die plastische Verformung einsetzt und eine Binghamflüssigkeit zu fließen beginnt. Die Fließspannung τ_0 einer Newtonschen Flüssigkeit ist gleich Null.

Fließfestigkeit: Spannung, bei der ein Material eine spezifische Abweichung von der Proportionalität zwischen Spannung und Verformung zeigt.



Legende

- 1 Scherspannung τ [Pa]
- 2 τ_0 Fließgrenze = Fließspannung
- 3 c Kohäsion
- 4 Scheinbare Viskosität $\mu_{app} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$ [Pas]
- $\dot{\gamma}$ Schergeschwindigkeit $\dot{\gamma} = \frac{dv}{dy}$ [s^{-1}]

Bild B.1 – Definition der rheologischen Parameter für eine (plastisch fließende) Binghamflüssigkeit

Anhang C
(informativ)

Verbindlichkeitsgrad der Festlegungen

Die Bestimmungen werden entsprechend ihrem Verbindlichkeitsgrad angegeben:

RQ: Anforderung;

RC: Empfehlung;

PE: Erlaubnis;

PO: Möglichkeit;

ST: Aussage.

1	Anwendungsbereich
2	Normative Verweisungen
3	Begriffe und Zeichen
4	Erforderliche Informationen und Unterlagen zur Ausführung der Arbeiten
4.1	RC
4.2	RQ
4.3	RC
4.4	RQ
5	Geotechnische Untersuchung
5.1	Allgemeines
5.1.1	ST
5.1.2	RC
5.1.3	RC
5.1.4	RC

5.1.5	RC
5.1.6	RQ
5.1.7	RQ
5.2	Durchlässigkeitsuntersuchung
5.2.1	PO
5.2.2	RC
5.2.3	RC
5.2.4	RQ
5.2.5	ST
5.3	Injektionsversuche im Untergrund und im Laboratorium
5.3.1	RC
5.3.2	RQ
5.3.3	RC
5.3.4	RQ
5.3.5	PO
6	Baustoffe und Bauprodukte
6.1	Allgemeines
6.1.1	RQ
6.1.2	RQ
6.1.3	RQ
6.1.4	RQ
6.2	Baustoffe für das Injektionsgut
6.2.1	Hydraulische Bindemittel und Zemente

6.2.1.1	ST	7.3.2.1.2	RQ
6.2.1.2	ST	7.3.2.2	Kluft- und Kontaktinjektion
6.2.1.3	RQ	7.3.2.2.1	ST
6.2.1.4	RC	7.3.2.2.2	RQ
6.2.1.5	ST	7.3.2.3	Hohlraumverfüllung
6.2.2	Tone	7.3.2.3.1	ST
6.2.2.1	PE	7.3.2.3.2	RQ
6.2.2.2	RC	7.3.2.3.3	PO
6.2.3	Sande, Kiese und Füller	7.3.3	Injektion mit Baugrundverdrängung (Verdrängungsinjektion)
6.2.3.1	ST	7.3.3.1.1	ST
6.2.3.2	PO	7.3.3.1.2	PE
6.2.3.3	RQ	7.3.3.2	Hydraulische Rissbildung
6.2.4	Wasser	7.3.3.2.1	ST
6.2.4.1	RC	7.3.3.2.2	RC
6.2.4.2	RC	7.3.3.3	Verdichtungsinjektion
6.2.5	Chemische Produkte und Zusätze	7.3.3.3.1	ST
6.2.5.1	PE	7.3.3.3.2	ST
6.2.5.2	RQ	7.3.3.3.3	RQ
6.2.5.3	ST	7.4	Injektionsgut
6.2.5.4	ST	7.4.1	Art und Zusammensetzung
6.2.6	Andere Stoffe	7.4.1.1	RQ
6.2.6.1	PO	7.4.1.2	RQ
6.2.6.2	ST	7.4.2	Allgemeine Hinweise
6.3	Injektionsgut	7.4.2.1	RQ
6.3.1	Allgemeines	7.4.2.2	RQ
6.3.1.1	ST	7.4.2.3	RC
6.3.1.2	RQ	7.4.2.4	ST
6.3.1.3	ST	7.4.3	Parameter und Kriterien
6.3.2	Suspensionen	7.4.3.1	RQ
6.3.2.1	ST	7.4.3.2	ST
6.3.2.2	RC	7.4.3.3	RC
6.3.2.3	RQ	7.4.3.4	PE
6.3.2.4	RQ	7.4.3.5	RC
6.3.2.5	RE	7.4.4	Einsatzbereiche
6.3.3	Lösungen	7.4.4.1	ST
6.3.3.1	RC	7.4.4.2	RQ
6.3.3.2	PO	7.5	Einbringen des Injektionsgutes
6.3.3.3	RQ	7.5.1	Allgemeines
6.3.3.4	RQ	7.5.1.1	RQ
6.3.3.5	RQ	7.5.1.2	ST
6.3.3.6	ST	7.5.1.3	RC
6.3.4	Mörtel	7.5.1.4	RC
6.3.4.1	ST	7.5.1.5	RC
6.3.4.2	RQ	7.5.2	Bohr raster und Bohrlochplanung
6.3.4.3	RC	7.5.2.1	ST
6.4	Probenahme und Prüfung	7.5.2.2	RQ
6.4.1	RQ	7.5.2.3	RE
6.4.2	RQ	7.5.2.4	RQ
6.4.3	RC	7.5.2.5	RQ
6.4.4	RQ	7.5.2.6	RC
6.4.5	ST	7.5.2.7	RC
7	Hinweise zu Entwurf und Bemessung	7.5.3	Injektionsablauf
7.1	Vorbemerkungen	7.5.3.1	ST
7.1.1	ST	7.5.3.2	PO
7.1.2	ST	7.5.3.3	RQ
7.2	Grundlagen und Ziele der Planung	7.5.4	Injektionsdruck
7.2.1	RC	7.5.4.1	ST
7.2.2	ST	7.5.4.2	PE
7.2.3	RQ	7.5.4.3	ST
7.2.4	RQ	7.5.4.4	ST
7.2.5	RC	7.5.4.5	RQ
7.3	Injektionsprinzipien und -verfahren	7.6	Überwachungs- und Kontrollkriterien
7.3.1	Allgemeines	7.6.1	RQ
7.3.1.1	ST	7.6.2	RC
7.3.1.2	ST	7.6.3	RQ
7.3.1.3	ST	8	Ausführung
7.3.2	Injektion ohne Baugrundverdrängung (verdrängungsfreie Injektion)	8.1	Allgemeines
7.3.2.1	Poren- oder Durchdringungsinjektion (Imprägnation durch Porenfüllung)	8.1.1	RQ
7.3.2.1.1	ST	8.1.2	ST
		8.1.3	RQ

8.1.4	RQ	9.2.2	RQ
8.2	Bohren	9.2.3	RQ
8.2.1	PO	9.2.4	RQ
8.2.2	RQ	9.2.5	RC
8.2.3	RC	9.2.6	RQ
8.2.4	RC	9.2.7	RC
8.2.5	RQ	9.3	Überwachung und Kontrolle
8.3	Aufbereiten des Injektionsgutes	9.3.1	Allgemeines
8.3.1	Lagerung	9.3.1.1	RC
8.3.1.1	RQ	9.3.1.2	RQ
8.3.2	Aufbereiten von Chargen und das Mischen	9.3.1.3	RC
8.3.2.1	RQ	9.3.1.4	RC
8.3.2.2	RQ	9.3.1.5	RC
8.3.2.3	RQ	9.3.1.6	RC
8.3.2.4	RC	9.3.1.7	RC
8.3.2.5	RQ	9.3.1.8	RC
8.3.2.6	RQ	9.3.1.9	RC
8.3.2.7	RC	9.3.2	Auswirkungen auf die Umwelt
8.3.2.8	RC	9.3.2.1	RC
8.3.3	Pumpen und Verteilung (in Leitungen)	9.3.3	Kontrolle der Ziele
8.3.3.1	RQ	9.3.3.1	RQ
8.3.3.2	RC	9.3.3.2	RC
8.3.3.3	RC	9.3.3.3	PO
8.3.3.4	RQ	9.3.3.4	ST
8.3.3.5	RC	9.3.3.5	PO
8.3.3.6	RQ	9.3.4	Aufzeichnungen über Baugrundbewegungen
8.3.3.7	RQ	9.3.4.1	RC
8.3.3.8	RQ	9.3.4.2	RQ
8.3.3.9	RC	9.3.5	Bohrlochherstellung
8.4	Injektion	9.3.5.1	PO
8.4.1	ST	9.3.6	Injektionsgut
8.4.2	PE	9.3.6.1	RQ
8.4.3	ST	9.3.6.2	RC
8.4.4	PE	9.3.6.3	RQ
8.4.5	ST	9.3.6.4	RQ
8.4.6	ST	9.3.6.5	RQ
8.4.7	RQ	9.3.6.6	PO
8.4.8	RC	10	Aufzeichnungen
8.4.9	RC	10.1	RC
8.4.10	RC	10.2	RC
8.4.11	RC	10.3	RQ
8.4.12	RQ	10.4	RQ
8.4.13	ST	10.5	RC
8.4.14	RQ	10.6	RQ
8.5	Injektionsabläufe	11	Besondere Anforderungen
8.5.1	RQ	11.1	Sicherheit des Personals
8.5.2	ST	11.1.1	ST
8.5.3	PO	11.1.2	RC
8.5.4	RQ	11.1.3	RQ
8.5.5	RC	11.1.4	RC
8.5.6	RC	11.2	Umweltschutz
9	Bauüberwachung, Prüfungen und Kontrollen	11.2.1	RC
9.1	Allgemeines	11.2.2	RC
9.1.1	RQ	11.2.3	ST
9.1.2	RQ	11.2.4	RC
9.2	Beaufsichtigung		
9.2.1	RC		

Literaturhinweise

- [1] AFTES (1987): Group de travail Nr 8: Injection. Tunnel et ouvrages souterrains Nr. 81, AFTES , Paris.
- [2] API (Juni 1990): Recommended Practice 13 B-1: Standard Procedure for field testing of water-based drilling fluids, American Petroleum Institute.
- [3] AS.1289 (1984): Australische Norm. Method of testing soil for engineering purposes, Part C: Soil classification tests.
- [4] BSI (1986): BSI 8004: British Standard Code of practice for foundations (früher CP 2004). British Standards Institution.
- [5] CIRIA RP 451 (1992): Fundamental basis of grout injection for ground treatment.
- [6] DIN 4093 (1987): Behandlung des Baugrundes durch Injektionen; Planung, Ausführung und Prüfung. UDC 624.138.24 : 624.159.4 : 620.1.
- [7] ÖNORM B 4454 (1989): Injektionsarbeiten in Fest- und Lockergestein. DK 624.138.24.
- [8] SIA 198 (1993): Travaux souterrains: Projet, execution, dispositions particulières, mètres et décomptes. Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes.
- [9] NF P 18 891 (1992): Produits speciaux destinés aux constructions en béton hydraulique – produits à base de resines synthétiques ou de liants hydrauliques pour injections dans des structures en béton – essais d'injectabilité à la colonne de sable en milieux sec et/ou humide.
- [10] ISRM (1996): Abschlussbericht der Kommission über Injektionen in Fels, Internationale Gesellschaft für Felsmechanik, Int. J. Rock Mech. Sci. & Geomech. Abstr., Vol 33, No. 8, pp. 803–847, Elsevier.
- [11] prEN ISO 4109, Frischbeton-Konsistenzprüfung – Slump Test.
- [12] prEN 12382-2:1996, Prüfung von Beton – Bestimmung der Konsistenz – Setzmaß.

