

DIN EN 12715

ICS 93.020

Entwurf

Einsprüche bis 2019-07-03
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 12715:2000-10

**Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau –
Injektionen –
Injektionen;
Deutsche und Englische Fassung prEN 12715:2019**

Execution of special geotechnical work –
Grouting –
Grouting;
German and English version prEN 12715:2019
Exécution des travaux géotechniques spéciaux –
Injection –
Injection;
Version allemande et anglaise prEN 12715:2019

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2019-05-03 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 100 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12715:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 288 „Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-05-08 AA „Injektionen, Düsenstrahlverfahren, tiefreichende Bodenstabilisierung (SpA zu CEN/TC 288/WG 17, WG 18 und WG 20)“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12715:2000-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) technisch vollständige Überarbeitung des Abschnitts 4 bis Abschnitt 11;
- b) Anhang B „Injektionsarten — Prozesse und deren Charakterisierung“ hinzugefügt;
- c) Aktualisierung der Normativen Verweisungen;
- d) redaktionelle Anpassung des gesamten Dokuments.

Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau — Injektionen — Injektionen

Execution des travaux geotechniques speciaux — Injection — Injection

Execution of special geotechnical work — Grouting — Grouting

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort.....	4
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe.....	6
4 Zur Ausführung der Arbeiten erforderliche Informationen.....	9
4.1 Allgemeines.....	9
4.2 Spezifische Informationen.....	9
5 Geotechnische Untersuchungen.....	10
5.1 Allgemeines.....	10
5.2 Spezielle Anforderungen.....	10
5.3 Feldinjektionsversuche und -prüfungen.....	11
6 Baustoffe und Produkte.....	11
6.1 Allgemeines.....	11
6.2 Stoffe für das Injektionsgut.....	12
6.2.1 Zemente und hydraulische Bindemittel.....	12
6.2.2 Tone.....	12
6.2.3 Sand, Kies und Füllstoffe.....	12
6.2.4 Wasser.....	12
6.2.5 Chemische Produkte und Zusatzmittel.....	12
6.3 Injektionsgut.....	13
6.3.1 Allgemeines.....	13
6.3.2 Suspensionen.....	13
6.3.3 Lösungen.....	13
6.3.4 Mörtel.....	14
7 Ausführungsplanung.....	14
7.1 Allgemeines.....	14
7.2 Grundlagen und Ziele der Ausführungsplanung.....	14
7.3 Grundsätze und Verfahren für die Injektion.....	16
7.3.1 Allgemeines.....	16
7.3.2 Injektion ohne Baugrundverdrängung (verdrängungsfreie Injektion).....	16
7.3.3 Injektion mit Baugrundverdrängung (Verdrängungsinjektion).....	17
7.4 Injektionsgut.....	18
7.4.1 Art und Zusammensetzung.....	18
7.4.2 Allgemeine Hinweise.....	19
7.4.3 Parameter und Kriterien.....	20
7.4.4 Anwendbarkeit.....	20
7.5 Einbringung des Injektionsgutes.....	20
7.5.1 Allgemeines.....	20
7.5.2 Bohrraster und Bohrungsplanung.....	21
7.5.3 Injektionsabfolge.....	21
7.5.4 Injektionsdruck.....	22
7.6 Überwachungs- und Kontrollkriterien.....	22
8 Ausführung.....	23
8.1 Allgemeines.....	23

8.2	Bohren	23
8.3	Aufbereitung des Injektionsguts.....	24
8.3.1	Lagerung.....	24
8.3.2	Aufbereitung von Chargen und Mischen.....	24
8.3.3	Pumpen und Verteilen.....	24
8.4	Einbringung des Injektionsguts	25
8.4.1	Allgemeines	25
8.4.2	Packer.....	25
8.4.3	Besondere Bedingungen.....	26
8.5	Injektionsabläufe.....	26
9	Bauaufsicht, Prüfung und Überwachung.....	27
9.1	Allgemeines	27
9.2	Durchführung der Prüfungen	27
9.3	Überwachung und Kontrolle.....	28
9.3.1	Allgemeines	28
9.3.2	Auswirkungen auf die Umwelt.....	28
9.3.3	Validierung der Injektionsarbeiten.....	28
9.3.4	Überwachung der Baugrundbewegung.....	28
9.3.5	Bohrvorgang.....	29
9.3.6	Injektionsgut.....	29
10	Arbeitsvorbereitung.....	29
10.1	Allgemeines	29
10.2	Auf der Baustelle zu erstellende Dokumente.....	30
11	Besondere Aspekte (Umweltschutz, Sicherheit auf der Baustelle).....	31
11.1	Allgemeines	31
11.2	Arbeitsschutz und Sicherheit.....	31
11.3	Umweltschutz.....	32
	Anhang A (informativ) Glossar.....	33
	Anhang B (informativ) Injektionsgutarten — Verfahren und Eigenschaften	44
	Anhang C (informativ) Messung der Injektionsgutkenngrößen	47
	Literaturhinweise.....	52

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12715:2019) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 288 „Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 12715:2000 ersetzen.

Der allgemeine Anwendungsbereich von TC 288 umfasst die Normung der Ausführungsverfahren für geotechnische Arbeiten (einschließlich Prüf- und Kontrollverfahren) und der erforderlichen Werkstoffeigenschaften. Die Arbeitsgruppe WG18 wurde beauftragt, EN 12715:2000 mit dem Themenbereich Injektion zu überarbeiten.

Die Planung, Ausführungsplanung und Ausführung von Injektionen erfordern Erfahrung und Wissen auf diesem Fachgebiet. Die Ausführung erfordert qualifiziertes und kompetentes Personal und das vorliegende Dokument kann das Fachwissen des beauftragten Fachunternehmens nicht ersetzen.

Dieses Dokument wurde zur Ergänzung von EN 1997-1, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln* und EN 1997-2, *Eurocode 7 — Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds* erarbeitet.

Bis zur Veröffentlichung von EN 1997-3 ist die Planung von Injektionsarbeiten nicht klar definiert. Insbesondere wurde die Grenze zwischen der Planung nach der vorgeschlagenen EN 1997-3 und der Planung als Teil der Ausführung von Injektionsarbeiten nicht festgelegt. Dieses Dokument hat daher eine Unterscheidung zwischen der Ausführungsplanung, d. h. der Planung des Injektionsverfahrens, und den anderen Phasen der Planung getroffen.

Abschnitt 7 „Ausführungsplanung“ dieses Dokuments wurde in Bezug auf die Planung nur dort erweitert, wo dies erforderlich für die Ausführung ist.

Dieses Dokument deckt die Bau- und Überwachungsanforderungen für Injektionsarbeiten ab.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument gilt für die Ausführung, Prüfung und Überwachung von geotechnischen Injektionsarbeiten.

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 Einbringparameter (Druck, Volumen und Durchflussrate) gesteuert werden.

Dieses Dokument behandelt die folgenden Grundsätze und Verfahren für geotechnische Injektionen:

- Injektion mit Baugrundverdrängung (Verdichtungs- und Kompensationsinjektion);
- Injektion ohne Baugrundverdrängung (Poreninjektion, Kluft-/Felsinjektion, Hohlraumverfüllung).

Die Hauptziele der geotechnischen Injektion sind

- die Änderung der hydraulischen/hydrogeologischen Eigenschaften des Baugrunds,
- die Änderung der mechanischen Eigenschaften des Baugrunds,
- das Verfüllen von natürlichen Hohlräumen, Grubenbauten, Hohlräumen im Übergang von Bauwerken zum Untergrund,
- einschl. Verdrängung zum Ausgleich von fehlendem Baugrund oder zum Stabilisieren und Anheben von Fundamenten, Platten und Oberflächenbefestigungen.

Spezielle Injektionsarbeiten, die im Allgemeinen mit Bau- und/oder Arbeiten nach Katastrophenfällen verbunden sind, werden in diesem Dokument nicht behandelt.

Die Ausführung, Prüfung und Überwachung von Hochdruckinjektionen wird nicht in diesem Dokument, sondern in EN 12716 behandelt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1997-1, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

EN 1997-2, *Eurocode 7 — Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds*

EN 197-1:2011, *Zement — Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement*

EN 197-2, *Zement — Teil 2: Konformitätsbewertung*

EN 934-1, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel — Teil 1: Gemeinsame Anforderungen*

EN 934-3, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel — Teil 3: Zusatzmittel für Mauermörtel — Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung*

EN 934-4, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel — Teil 4: Zusatzmittel für Einpressmörtel für Spannglieder — Definitionen, Anforderungen, Konformität, Kennzeichnung und Beschriftung*

EN 934-6, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel — Teil 6: Probenahme, Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit*

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*

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*

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

EN 480-10, *Zusatzmittel für Beton, Mörtel und Einpressmörtel — Prüfverfahren — Teil 10: Bestimmung des wasserlöslichen Chloridgehalts*

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*

EN ISO 22282-2, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Geohydraulische Versuche — Teil 2: Wasserdurchlässigkeitsversuche in einem Bohrloch unter Anwendung offener Systeme (ISO 22282-2)*

EN ISO 22282-3, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Geohydraulische Versuche — Teil 3: Wasserdruckversuche in Fels (ISO 22282-3)*

EN 16228-6, *Geräte für Bohr- und Gründungsarbeiten — Sicherheit — Teil 6: Geräte für Injektionsarbeiten*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

ANMERKUNG Die in diesem Abschnitt angegebenen Begriffe sind nur eine Auswahl der wichtigsten Ausdrücke bezüglich geotechnischer Injektionen. Weitere Begriffe sind im Glossar in Anhang A aufgeführt.

3.1

Hohlraumverfüllung

Einbringen von Injektionsgut zum Verfüllen unterirdischer Hohlräume

3.2

Verdichtungsinjektion

Injektionsverfahren mit Verdrängung des Baugrunds, bei dem ein sich langsam setzender Mörtel in den Baugrund eingebracht wird, um den Boden nur durch Ausdehnung zu verdichten

3.3

Kontaktinjektion

Einbringen von Injektionsgut am Übergang zwischen Bauwerken und dem Baugrund

3.4

Verdrängungsinjektion

Einbringen von Injektionsgut in den Baugrund, wodurch dieser verformt, verdichtet oder verdrängt wird

3.5

wirksamer Druck

Druck zum Einbringen in den Baugrund, berechnet aus der Summe aller Druckverluste und Druckgewinne im Injektionssystem und im Baugrund

3.6

Kluftinjektion

Einbringen von Injektionsgut in Klüfte, Fugen, Risse und Diskontinuitäten im Gestein

3.7

Injektionsgut

pumpbares Material (Suspension, Lösung, Emulsion oder Mörtel), das ins Locker- oder Festgestein eingepresst wird und nach einer bestimmten Zeit ansteift und erhärtet

3.8

Injektionsdruck

Druck, der während des Injektionsvorgangs aufgebracht und an festgelegten Stellen (im Allgemeinen an der Pumpe oder am Bohrlochkopf) gemessen wird (auch „Arbeitsdruck“ genannt)

3.9

hydraulische Rissbildung

Entstehung eines neuen lokalen Risses, ausgelöst durch das Injizieren von Wasser oder Injektionsgut

3.10

hydraulische Hebung

Injektion von Wasser oder Injektionsgut in bestehende Risse des Bodens, um die Ausbreitung und Eindringfähigkeit des Injektionsguts zu verbessern; auch Hydrojacking genannt

3.11

Eindringinjektion

Einbringen von Injektionsgut in Fugen oder Risse im Fels bzw. in Porenräume im Lockergestein ohne Baugrundverdrängung

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff umfasst Poreninjektion (Imprägnierung durch Porenverfüllung), Kluft- und Kontaktinjektion.

3.12

Poreninjektion

Austausch von in einem porösen Medium eingelagerten Wasser oder Gas durch das Injektionsgut, auch als „Imprägnierung durch Porenverfüllung“ bekannt

3.13

Injektion ohne Baugrundverdrängung

Einbringen von Injektionsgut in den Baugrund, so dass dieser nicht verformt, verdichtet oder verdrängt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff umfasst Eindringinjektion und Hohlraumverfüllung.

3.14

Bluten

Vorgang, bei dem sich Wasser unter Schwerkraft oder Druck vom Injektionsgut absetzt

3.15

stabile Suspension

Suspension mit der Fähigkeit, Bluten und Entmischung zu minimieren und ihre ursprünglichen Eigenschaften unter Druck zu erhalten

3.16

Feldinjektionsversuche

Feldinjektionsversuche werden durchgeführt, um ein Injektionsverfahren festzulegen oder zu bewerten

3.17

hydraulische Bindemittel

alle Zemente und ähnliche Produkte, die in wässrigen Suspensionen zur Herstellung von Injektionsgut verwendet werden

3.18

Feinzement

hydraulische Bindemittel oder Zemente, die durch eine Partikelgröße d_{95} unter 40 μm gekennzeichnet sind

3.19

mikrofein

hydraulische Bindemittel oder Zemente, die durch eine Partikelgröße d_{95} unter 20 μm gekennzeichnet sind

3.20

ultrafein

hydraulische Bindemittel oder Zemente, die durch eine Partikelgröße d_{95} unter 10 μm gekennzeichnet sind

3.21

Zusatzmittel

ein oder mehrere Werkstoffe, die dem Injektionsgut oder Mörtel zugesetzt werden, um dessen Eigenschaften zu verändern

3.22

Mörtel

stark partikuläres Injektionsgut, das Sand und eine feine Gesteinskörnung enthält, üblicherweise Beton mit einer Gesteinskörnung unter 4 mm

3.23

Abstandhalbierung

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

3.24

Manschettenrohr

in regelmäßigen Abständen gelochtes Injektionsrohr, dessen Lochungen außen von Manschetten abgedeckt sind, die als Rückschlagventile wirken

4 Zur Ausführung der Arbeiten erforderliche Informationen

4.1 Allgemeines

4.1.1 Vor der Ausführung der Arbeiten sind alle erforderlichen Informationen zur Verfügung zu stellen. Diese Angaben sollten gegebenenfalls Folgendes enthalten:

- jedwede Einschränkungen durch gesetzliche Vorschriften;
- die Lage der Hauptversorgungsleitungen zum Abstecken;
- den Zustand der angrenzenden Bauwerke, Straßen, Ver- und Entsorgungsleitungen usw., einschließlich der erforderlichen Aufmaße;
- ein geeignetes Qualitätsmanagementsystem, einschließlich Überwachung und Prüfung;
- Geometrie des Standorts (Randbedingungen, Topografie, Zufahrten, Gefälle, Höhenbeschränkungen usw.);
- bestehende unterirdische Bauwerke, Ver- und Entsorgungsleitungen, bekannte Bodenkontaminationen und Einschränkungen durch archäologische Funde;
- Umweltschutzbestimmungen, einschließlich Einschränkungen bezüglich Lärm, Schwingungen und
- Umweltverschmutzung; geplante oder laufende Arbeiten, wie Entwässerung, Tunnelbau, Aushub.

4.2 Spezifische Informationen

4.2.1 Die folgenden spezifischen Informationen sind gegebenenfalls aufzunehmen:

- Ausführungsunterlagen;
- vorherige Nutzung des Standorts;
- angrenzende Fundamente (Arten, Lasten und Geometrie);
- geotechnische Angaben und die in Abschnitt 5 aufgeführten Daten;
- vorhandene Hindernisse im Boden (altes Mauerwerk, Anker, Beton, Steine und Felsbrocken usw.);
- vorhandene Beschränkungen in der Höhe;
- vorhandene archäologische Funde;
- vorhandene Kavernen und/oder angelegte Hohlräume (Gruben, Grubenanlagen usw.);
- vorhandene Bodenverunreinigungen und Art, Ausmaß und Grad der Verunreinigung;
- besondere Anforderungen an die Injektionsarbeiten, insbesondere hinsichtlich der Toleranzen, der Baustoffqualität, der Verfahren und der Häufigkeit der Prüfungen;

- soweit verfügbar, frühere Erfahrungen mit Injektionsarbeiten auf dem Gelände oder Nachbargelände;
- empfohlene Erschließungs- oder Vorarbeiten, die Auswirkungen auf die Injektionsarbeiten haben könnten;
- funktionale Anforderungen an die Messgeräte und Überwachungseinrichtungen für potenziell beeinträchtigte Bauwerke;
- Notwendigkeit, Umfang, Verfahren und Inhalt von Untersuchungen des Zustands von Bauwerken, Straßen, Ver- und Entsorgungsleitungen usw. in der Nähe des Arbeitsbereichs.

4.2.2 Die Untersuchungen sind vor Beginn der Arbeiten durchzuführen und die Ergebnisse bereitzustellen. Die daraus zu ziehenden Schlüsse sind zur Festlegung der Schwellenwerte von Erdbewegungen heranzuziehen, die benachbarte Bauwerke beeinträchtigen könnten.

4.2.3 Alle zusätzlichen oder abweichenden Anforderungen zu diesem Dokument sind vor Beginn der Arbeiten festzulegen und zu vereinbaren, und das Qualitätssicherungssystem ist entsprechend zu ändern.

5 Geotechnische Untersuchungen

5.1 Allgemeines

5.1.1 Die geotechnische Untersuchung muss die Anforderungen von EN 1997-2 und der einschlägigen nationalen Dokumente erfüllen.

5.2 Spezielle Anforderungen

5.2.1 Relevante Erfahrungen mit der Durchführung vergleichbarer Injektionsarbeiten unter ähnlichen Bedingungen und/oder in der Nähe des Standorts sollten bei der Festlegung des Umfangs der Standortuntersuchung berücksichtigt werden (eine Verweisung auf einschlägige Erfahrungen ist zulässig, wenn geeignete Überprüfungsmaßnahmen durchgeführt wurden).

5.2.2 Der geotechnische Untersuchungsbericht muss verfügbar und ausreichend ausführlich sein, um eine zuverlässige Durchführung der Injektionsarbeiten zu ermöglichen.

5.2.3 Falls die bei der Injektion vorgefundenen Bodenverhältnisse vom geotechnischen Untersuchungsbericht abweichen, ist dies zu melden.

5.2.4 Für die Durchführung von Injektionsarbeiten sollte der Bodenuntersuchungsbericht die folgenden spezifischen Angaben enthalten:

- die relevanten physikalischen und chemischen Eigenschaften des Baugrunds und des Grundwassers;
- vorhandene Anisotropie oder durchlässige Bodenschichten, die Einfluss auf die Injektionsarbeiten haben könnten;
- die Ausrichtung, Häufigkeit und Öffnungsgröße von Felsfugen sowie die Zusammensetzung und Art von eventuell vorhandenen Verfüllungen;
- die Lage und Art von verfüllten oder offenen Hohlräumen;
- vorhandene Hindernisse, die besondere Bohr- und Injektionsverfahren oder -geräte erfordern;

- vorhandene Böden, die durch die Bohrung und Injektion Gefahr laufen, sich zu lockern, weich oder instabil zu werden, sich aufzulösen, zusammenzubrechen oder anzuschwellen, sowie deren Eigenschaften;
- vorhandene Bodenschichten mit hohen Grundwassergeschwindigkeiten und -durchlässigkeiten.

5.2.5 Gegebenenfalls sollten folgende bohrungsspezifischen Informationen aufgezeichnet werden:

- Stellen, an denen Bohrkernverluste auftraten, und Gründe dafür;
- instabile Zonen und ergriffene Stabilisierungsmaßnahmen;
- Wasserstand zu Beginn und am Ende eines Bohrlaufs, Zonen mit Wasserablauf und -zulauf, Messungen von Rücklaufwassermenge, Wasserfarbe und Farbveränderungen;
- Aufzeichnung der Bohrparameter bei zerstörenden Bohrungen;
- Vortriebsgeschwindigkeit.

5.2.6 Durchlässigkeitsprüfungen sind nach EN ISO 22282 auszuführen.

5.3 Feldinjektionsversuche und -prüfungen

5.3.1 Feldinjektionsversuche sollten dann durchgeführt werden, wenn die ersten Standortuntersuchungen und Erfahrungen vor Ort oder an vergleichbaren Standorten unzureichend sind, um die Wirksamkeit des Injektionsvorhabens zu untermauern oder zu begründen.

ANMERKUNG Einige Erkenntnisse in Bezug auf die Injizierbarkeit *vor Ort* können durch Versuchsinjektionen in nachgebildeten Bodenproben unter Laborbedingungen gewonnen werden.

5.3.2 Die Versuche sollten Aufschluss geben über den Abstand der Bohrlöcher, die Art des Injektionsgutes, das Verfahren und die Parameter für die geplante Injektion.

5.3.3 Über jeden Arbeitsgang bei den Probeinjektionen sind detaillierte Aufzeichnungen zu führen.

6 Baustoffe und Produkte

6.1 Allgemeines

6.1.1 Alle Bestandteile des Injektionsguts und das Injektionsgut selbst müssen der Leistungsbeschreibung der auszuführenden Arbeiten entsprechen.

ANMERKUNG Gegebenenfalls könnten EN-Normen oder nationale Normen und/oder Regelungen anwendbar sein.

6.1.2 Die Eignung der Bestandteile des Injektionsguts und deren Zusammenspiel mit dem Baugrund sind zu berücksichtigen und, falls erforderlich, zu untersuchen.

6.1.3 Nach festgestellter Eignung der Stoffe für das Injektionsgut ist ein Wechsel der Bezugsquellen nur nach vorheriger Prüfung der Übereinstimmung oder entsprechenden Prüfungen vorzunehmen.

6.2 Stoffe für das Injektionsgut

6.2.1 Zemente und hydraulische Bindemittel

6.2.1.1 Zemente müssen die Anforderungen von EN 197-1 und EN 197-2 erfüllen. Zemente, die nicht EN 197-1:2011, Tabelle 1 entsprechen, dürfen verwendet werden, wenn sie für den vorgesehenen Injektionszweck als zulässig erachtet werden.

6.2.1.2 Die Prüfung von Zementen und anderen Bindemitteln muss nach dem jeweils geeigneten Verfahren erfolgen.

6.2.1.3 Bei der Auswahl des hydraulischen Bindemittels für das Injektionsgut ist seine Korngrößenverteilung in Bezug auf die Abmessungen der Gesteinsöffnungen oder der Hohlräume im zu behandelnden Boden zu bewerten.

6.2.1.4 Puzzolan, Hochofenschlacke, Silikastaub und Flugasche aus Wärmekraftwerken oder andere reaktive Materialien dürfen für das Injektionsgut verwendet werden.

6.2.2 Tone

6.2.2.1 Natürliche Tone, aktivierte oder modifizierte Bentonite können einem Injektionsgut auf Zementbasis im Allgemeinen zugesetzt werden, um Bluten und/oder Filtration unter Druck zu mindern, die Viskosität und Kohäsion (Fließgrenze) des Injektionsgutes zu verändern oder seine Pumpbarkeit und/oder Eindringfähigkeit zu verbessern.

6.2.2.2 Die mineralischen Eigenschaften, die Partikelgröße, der Wassergehalt und die Grenzwerte des Tons nach Atterberg sollten bekannt sein

6.2.3 Sand, Kies und Füllstoffe

6.2.3.1 Sand, Kies und inerte Füllstoffe dürfen einem Injektionsgut aus Zement oder einer Suspension mit Ton als Füllstoffe oder zur Veränderung der Konsistenz, der Auswaschfestigkeit oder der mechanischen Festigkeit und Verformbarkeit zugesetzt werden.

6.2.3.2 Die Korngrößenverteilung von Sand, Kies und Füllstoffen muss bekannt sein.

6.2.4 Wasser

6.2.4.1 Wenn für das Injektionsgut kein Trinkwasser verwendet wird, ist die chemische Eignung des Wassers zu überprüfen.

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

6.2.5 Chemische Produkte und Zusatzmittel

6.2.5.1 Die Wirkung aller chemischen Produkte und ihrer Nebenprodukte, einschließlich der Wirkung über die Zeit, die sich aus der Reaktion der chemischen Produkte mit anderen Komponenten des Injektionsguts oder mit dem umgebenden Baugrund ergeben, sind zu berücksichtigen und mit einschlägigen Umweltschutzgesetzen in Einklang zu bringen.

6.2.5.2 Zusatzmittel dürfen dem Injektionsgut zugesetzt werden, um seine Eigenschaften zu ändern und Parameter wie Viskosität, Abbindedauer, Stabilität, Festigkeit, Beständigkeit, Kohäsion und Durchlässigkeit nach der Einbringung zu kontrollieren.

6.2.5.3 Zusatzmittel für das Injektionsgut, wie z. B. Plastifizierungsmittel, Wasserrückhaltemittel, Luftporenbildner und andere müssen EN 934, Teile 1, 3, 4 und 6 sowie EN 480-1 bis EN 480-12 entsprechen.

6.3 Injektionsgut

6.3.1 Allgemeines

6.3.1.1 Injektionsgut wird eingeteilt in:

- Suspensionen: entweder partikuläre oder kolloidale Suspensionen (Nanopartikel);
- Lösungen: entweder echte oder kolloidale Lösungen (große Moleküle);
- Mörtel.

6.3.1.2 Folgende materialspezifische Eigenschaften sind bei der Auswahl eines Injektionsgutes zu berücksichtigen:

- Rheologie (Viskosität, Kohäsion usw.), Abbindedauer, Stabilität;
- gegebenenfalls die Partikelgröße;
- Festigkeit und Dauerhaftigkeit
- Toxizität.

6.3.2 Suspensionen

6.3.2.1 Suspensionen sind durch folgende Merkmale gekennzeichnet:

- Verhältnis Wasser/Feststoffe und/oder Bindemittel;
- Korngrößenverteilung;
- Entmischungs- und Ausblutrate;
- Stabilität bei Druckfiltration;
- Rheologie und ihre Entwicklung über die Zeit.

6.3.2.2 Die Ausflockungsneigung von Feststoffen in Suspension ist zu berücksichtigen, insbesondere bei der Verwendung von Mikrofein- und Ultrafeinzement.

6.3.2.3 Die Tendenz von Feststoffen in Suspension, sich durch Schwerkraft im Wasser abzusetzen, und ihre Neigung, unter Druck zu bluten, ist in Bezug auf die Art und die Eigenschaften des aufnehmenden Baugrunds zu berücksichtigen.

6.3.2.4 Tonsuspensionen sollten so hergestellt werden, dass die Tonpartikel vor der Injektion gründlich dispergiert und hydratisiert sind.

6.3.3 Lösungen

6.3.3.1 Nach dem Abbinden sind einige Arten von Injektionsgut nicht stabil über die Zeit, und ihre Verwendung sollte bewertet werden.

6.3.3.2 Die Wirkung der Synärese auf die Eigenschaften des behandelten Baugrunds und auf die Umwelt, insbesondere ihre Langzeitwirkung, ist vor der Behandlung zu bewerten.

6.3.3.3 Die Auswirkungen von Temperaturunterschieden auf das Verhalten des Injektionsguts während der Herstellung und dem Einbringen sind zu berücksichtigen.

6.3.3.4 Auf Folgendes muss besonders geachtet werden:

- die Toxizität der einzelnen Bestandteile des Injektionsguts;
- die Gefahr der Verdünnung der Injektionsmischung durch das Grundwasser, wodurch die Abbindedauer verlängert wird;
- die Hemmung chemischer Reaktionen;
- die Toxizität und die Auswirkungen auf die Umwelt aller im Grundwasser freigesetzten Stoffe, falls die chemische Reaktion mit dem aufnehmenden Baugrund nicht vollständig abläuft oder durch ihn verändert wird.

6.3.4 Mörtel

6.3.4.1 Mörtel, die unter ihrem Eigengewicht fließen, können zum Füllen von Hohlräumen, großen Rissen, offenen Klüften und Hohlräumen im Erdreich verwendet werden.

6.3.4.2 Bei Einsatz in einer Verdichtungsinjektion sollte der Mörtel die folgenden Eigenschaften aufweisen:

- mindestens 15 % Feinanteile unter 0,1 mm;
- hohe innere Reibung;
- maximale Setzung von 12 cm;
- Erhaltung der Pumpbarkeit für die Injektion.

7 Ausführungsplanung

7.1 Allgemeines

7.1.1 Die grundlegende Norm für die Planung von Bodenverbesserungen ist:

- EN 1997-1: *Eurocode 7 — Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

7.1.2 Das vorliegende Dokument behandelt nur die Ausführungsplanung, z. B. Injektionsgut, Drücke, Durchflussraten, Behandlungsabfolge usw., für die Planung und Durchführung von geotechnischen Injektionen.

7.2 Grundlagen und Ziele der Ausführungsplanung

7.2.1 Bei der Ausführungs- und Gesamtplanung einer Injektionsanwendung sind die Auswirkungen unterschiedlicher Bodenverhältnisse oder unstetes Verhalten des aufnehmenden Baugrunds zu berücksichtigen und gegebenenfalls im Laufe der Arbeiten anzupassen.

7.2.2 Für die Erstellung der Ausführungsplanung einer Injektion sind folgende Informationen bereitzustellen:

- Definition der Injektionsziele, der erforderlichen Leistung und der Kontrollkriterien, wie sie in der Detailplanung festgelegt sind;
- Angemessenheit und Zuverlässigkeit von Baugrundinformationen, insbesondere geologischer, geotechnischer und hydrogeologischer Daten (einschließlich chemischer Zusammensetzung des Wassers), die für die Injektionen relevant sind (siehe Abschnitt 5);
- Einschränkungen durch Umweltschutzauflagen, zulässige Verformung und Verdrängung, Einfluss angrenzender Bauwerke bzw. Einfluss auf diese (Gebäude und Fundamente usw.) oder andere Parameter, die die Wahl der Injektionsmischung und der Einbringtechnik beeinflussen könnten;
- Verweisungen auf andere Injektionsprojekte, die im selben Gebiet oder unter vergleichbaren Umständen durchgeführt wurden, sofern verfügbar.

7.2.3 Auf der Grundlage der Baugrunduntersuchung, der Probeinjektionen und der Detailplanung sind folgende Aspekte zu berücksichtigen und in die Ausführungsplanung einzubeziehen:

- die Geometrie und Ausdehnung des zu behandelnden Baugrunds;
- die messbaren Eigenschaften, die in der Detailplanung erreicht werden müssen;
- das Bohrverfahren und Bohrmuster;
- die anzuwendenden Injektionstechniken und -verfahren;
- der Abstand der Injektionsstellen;
- die Abfolge der Injektionen in Bezug auf den Zeitpunkt, die Injektionsgutzusammensetzung und die Injektionsstelle;
- die Werte für die Injektion und das Injektionsgut sowie gegebenenfalls festgelegte Grenzwerte (Injektionsdruck, Durchflussrate und Menge des Injektionsguts und Zeit);
- die Zusammensetzung und Eigenschaften des zu verpressenden Injektionsguts;
- die erforderlichen Prüfungen und Feldkontrollen, die vor, während und nach der Injektion durchzuführen sind;
- die erforderlichen Messgeräte für die Überwachung, Steuerung und Datenaufzeichnung.

7.2.4 Die folgenden Aspekte sollten für die Injektion berücksichtigt werden:

- die geforderten Eigenschaften des Injektionsguts;
- mögliche Veränderungen der anstehenden Spannung und des anstehenden Porendrucks durch die Injektionsarbeiten *in situ*, die bestehenden Grundwasserverhältnisse sowie die zu erwartenden Bedingungen nach der Ausführung;
- die Toxizität der Injektionsstoffe;
- die Arbeitsumgebung, in der die Injektionsstoffe zu lagern, zu mischen und zu injizieren sind;

- die Verfügbarkeit und zuverlässige Versorgung mit Injektionsstoffen;
- Umweltschutz- und Sicherheitsvorschriften;
- für die Injektion ist der Zeitraum vom Ende einer Vorinjektionsphase bis zum Beginn der Folgearbeiten festzulegen.

7.3 Grundsätze und Verfahren für die Injektion

7.3.1 Allgemeines

7.3.1.1 Das Einbringen von Injektionsgut in den Boden erfolgt entweder mit oder ohne Baugrundverdrängung. **Bild 1** veranschaulicht die verschiedenen Injektionsverfahren, die mit diesen beiden Prinzipien verbunden sind.

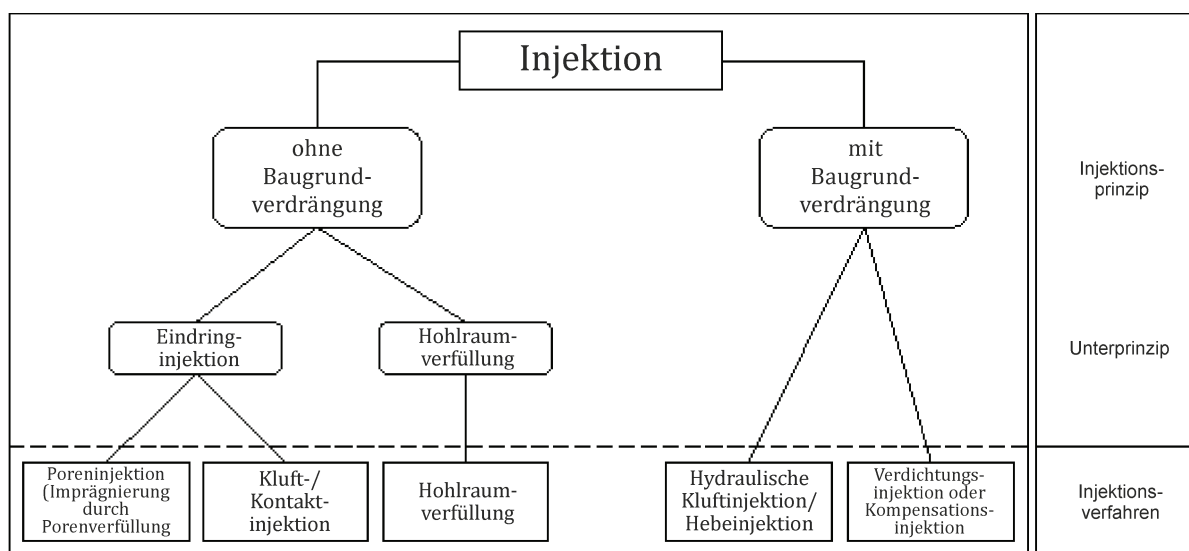


Bild 1 — Grundsätze und Verfahren für die Injektion

ANMERKUNG Der Begriff Verfestigungsinjektion wird manchmal verwendet, um eine Verbesserung der Festigkeit oder Verformungseigenschaften eines Locker- oder Festgesteins zu betonen, die darauf abzielt, unzulässige Verformung zu vermeiden. Der Begriff Kompensationsinjektion wird verwendet, 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 Um Verdrängung und/oder hydraulische Rissbildung zu vermeiden, ist die Injektion bei kontrollierten Drücken und/oder Durchflussraten unter Verwendung eines geeigneten Injektionsguts durchzuführen.

7.3.2.1 Eindringinjektion

7.3.2.1.1 Eindringinjektion schließt Poreninjektion (Imprägnierung durch Porenverfüllung), Kluft- und Kontaktinjektion mit ein.

7.3.2.1.2 Die Funktion der Eindringinjektion besteht darin, die Durchlässigkeit des Locker- oder Festgesteins zu verringern und/oder die Festigkeit und Dichte zu erhöhen.

7.3.2.1.3 Um Verdrängung zu vermeiden, ist die Poreninjektion bei sorgfältig kontrollierten Drücken und Durchflussraten unter Verwendung eines geeigneten Injektionsguts durchzuführen.

7.3.2.1.4 Die Durchflussrate (Injektionsrate) Q ist so zu regeln, dass der wirksame Druck unter dem Aufbrechdruck des Bodens liegt.

7.3.2.1.5 Injektionen mit mikrofeinem, ultrafeinem oder chemischem Injektionsgut in grobkörnigen Böden erfordern möglicherweise eine Vorinjektion, z. B. mit zementbasiertem Injektionsgut.

7.3.2.1.6 Die Funktion der Kluftinjektion bzw. der Kontaktinjektion in Fels besteht im Verfüllen von Hohlräumen, offenen Klüften, Rissen oder Fugen in einer Gesteinsmasse mit Injektionsgut, ohne neue Risse oder Verdrängung zu verursachen, um die Durchlässigkeit des Injektionskörpers zu verringern und/oder seine Festigkeit zu erhöhen.

7.3.2.1.7 Häufigkeit, Ausrichtung, Ausdehnung, Öffnungsweite, Rauigkeit und die Verfüllung der Brüche im Fels sind bei der Ausarbeitung der Planung und der Bohrlochanordnung zu berücksichtigen.

7.3.2.1.8 Das Bohrverfahren muss sich nach den Anforderungen, die in der Ausführungsplanung und/oder den Leistungsbeschreibungen festgelegt sind, richten.

7.3.2.1.9 Bei der Injektion vor und nach Tunnelvortriebsarbeiten sind die angewandten Drücke und Baustoffe unter Berücksichtigung der geometrischen Bedingungen und der Bodenverhältnisse auszuwählen.

ANMERKUNG Vorinjektionen werden typischerweise durchgeführt, um das Einströmen von Grundwasser in den Tunnel zu vermindern und dadurch den weiteren Vortrieb zu sichern und/oder um Anforderungen an die Zuflussleistung zu erfüllen. Nachinjektionen können zur Erfüllung von Leistungsanforderungen durchgeführt werden.

7.3.2.1.10 Bei der Planung von Injektionen im Fels ist das Vorhandensein oder die Ausdehnung von Auflockerungszonen zu berücksichtigen.

7.3.2.2 Hohlraumverfüllung

7.3.2.2.1 Die Hohlraumverfüllung wird im Allgemeinen das drucklose oder unter geringen Drücken erfolgende Einbringen großer Mengen an Injektionsgut bezeichnet.

7.3.2.2.2 Wird eine große Menge an zementhaltigem Injektionsgut in einen geschlossenen Hohlraum eingebracht, ist die Wirkung von hohen örtlichen Temperaturen und hervorgerufenen Spannungen zu berücksichtigen.

7.3.2.2.3 Auf die 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 Die Funktion der Verdrängungsinjektion besteht im Einbringen von Injektionsgut unter Druck mit der Absicht, den Baugrund räumlich zu verdrängen.

7.3.3.1.2 Verdrängungsinjektionen können eingesetzt werden, um kontrollierte Baugrundbewegungen zu erzeugen, die Durchlässigkeit des Baugrunds zu verringern, den Baugrund zu verstärken oder zu stabilisieren und/oder die Steifigkeit unter einem Bauwerk oder einem Fundament zu erhöhen.

7.3.3.2 Hydraulische Kluftinjektion

7.3.3.2.1 Die Funktion der hydraulischen Kluftinjektion besteht darin, Brüche im Locker- oder Festgestein zu erzeugen, um zusätzliches Gesamtvolumen zu schaffen und dadurch Bodenbewegungen, wie z. B. das Anheben von Bauwerken, kontrolliert abzuschwächen oder hervorzurufen.

7.3.3.3 Hydraulische Hebeinjektion

7.3.3.3.1 Die Funktion der hydraulischen Hebeinjektion von Gesteinsmassen besteht in der Verbesserung der Verteilung und Eindringfähigkeit des Injektionsguts.

7.3.3.3.2 Die Fortpflanzung von hydraulisch erzeugten Rissen sollte kontrolliert werden, um das Risiko einer unzulässigen Verschiebung zu verringern.

ANMERKUNG Dies geschieht in der Regel durch die Anwendung einer Reihe von Einzelinjektionen mit begrenzter Menge über einen bestimmten Zeitraum.

7.3.3.4 Kompensationsinjektion

7.3.3.4.1 Die Funktion der Kompensationsinjektion besteht darin, Injektionsgut in den Baugrund einzubringen, um fortschreitendem Volumenverlust entgegenzuwirken, der entweder das Ergebnis von Bauarbeiten wie Aushub oder Tunnelbau ist oder durch Verfestigung von verdichtbarem Baugrund entstand.

7.3.3.4.2 Die Kompensationsinjektion muss aus mindestens zwei Phasen bestehen, wobei zunächst eine Vorbehandlungsphase zur Bodenvorbereitung erfolgt, an die sich der Injektionsvorgang zum Ausgleich der Erdbewegung anschließt.

ANMERKUNG Die Vorbehandlungsphase kann zu einer ausreichenden Verbesserung oder Vorhebung führen, so dass der zugehörige Injektionsvorgang minimiert werden oder vermieden werden kann.

7.3.3.4.3 Die Kompensationsinjektion darf auch eine dritte Phase im Anschluss an die beiden zusammenwirkenden Phasen umfassen, durch die alle langfristigen Erdbewegungen korrigiert werden.

7.3.3.4.4 Die Überwachung ist als fester Bestandteil des Kompensationsinjektionsverfahrens zu konzipieren und durchzuführen.

7.3.3.4.5 Bei der Ausführungsplanung der Kompensationsinjektion ist das zu erwartende Fortschreiten des Volumenverlusts während des Tunnelbaus zu berücksichtigen.

7.3.3.5 Verdichtungsinjektion

7.3.3.5.1 Die Funktion der Verdichtungsinjektion besteht darin, lose Böden zu verdichten, die Verflüssigung zu mildern und/oder Bauwerke nach einer Setzung anzuheben oder zu stützen.

ANMERKUNG Verdichtungsinjektion bezieht sich auf das Eindringen eines Mörtels oder eines vergleichsweise steifen (viskosen und kohäsiven) partikulären Injektionsguts in den Baugrund, um dort Verdrängung und Verformung hervorzurufen. Der Mörtel wird in der Regel mit unten offenen Injektionsrohren in den Boden eingebracht. Die Konsistenz des Mörtels ist so beschaffen, dass er als homogene Masse erhalten bleibt und es weder zu Poreninjektion noch zu hydraulischer Kluftinjektion im aufnehmenden Baugrund kommt.

7.3.3.5.2 Das endgültige Raster der Injektionsbohrungen darf während des Injektionsprozesses in Übereinstimmung mit den Ergebnissen der vorangegangenen Injektionsbohrungen und/oder durch Kontrollprüfungen in der Mitte des Primärrasters (Abstandhalbierung) schrittweise festgelegt werden.

7.3.3.5.3 Der langsame Abbau des Porendrucks in schwach durchlässigen Böden ist bei den Injektionsarbeiten zu berücksichtigen.

7.4 Injektionsgut

7.4.1 Art und Zusammensetzung

7.4.1.1 Die Art und Zusammensetzung des Injektionsguts ist nach den Bodenverhältnissen, der Leistungsbeschreibung der Arbeiten und der anzuwendenden Technik auszuwählen.

7.4.1.2 Die nationalen Normen oder Vorschriften sind in Bezug auf Einschränkungen bei der Verwendung bestimmter Arten von Injektionsgut zu konsultieren.

7.4.2 Allgemeine Hinweise

7.4.2.1 Um die Anforderungen der Leistungsbeschreibung für Injektionsarbeiten zu erfüllen, muss die Ausführungsplanung Folgendes berücksichtigen:

- den Zweck der Bodenbehandlung;
- die Einbringung des Injektionsguts, zeitliche Abstimmung und Arbeitsablauf;
- die rheologischen Eigenschaften des Injektionsguts und deren Veränderung über die Zeit und durch Temperatur;
- die Stabilität und Verarbeitbarkeit des Injektionsguts und deren Veränderung über die Zeit und durch Temperatur;
- die Abbinde- und Aushärtungszeit des Injektionsguts;
- die Verträglichkeit des Injektionsguts mit den Komponenten des Verteilsystems, den Bedingungen vor Ort und dem Baugrund;
- die physikalischen Eigenschaften nach dem Abbinden;
- die Auswirkungen von Synärese auf die mechanische Stabilität des behandelten Baugrunds (z. B. bei Injektionsgut auf Silikatbasis).

7.4.2.2 Die folgenden Bedingungen sind bei der Ausführungsplanung der Injektion zu berücksichtigen:

- bei Suspensionen, die relative Größe der Poren oder Klüfte im Vergleich zur Größe der festen (hydratisierten) Bestandteile des Injektionsguts, insbesondere die Größe von Fließhindernissen oder Porenengstellen (kleinste Zugangsfläche);
- die Durchlässigkeit des zu behandelnden Baugrunds und die Eindringfähigkeit des Injektionsguts;
- die chemische Zusammensetzung des Grundwassers, des Mischwassers und des Baugrunds;
- die Boden- und Injektionsguttemperatur;
- das Risiko des Austrocknens des Injektionsguts durch die Umgebungsbedingungen und die entsprechenden Auswirkungen;
- die Auswirkungen der Mischung, Verarbeitung und Einbringung des Injektionsguts auf die Umwelt;
- die potenzielle Umweltverschmutzung durch das Injektionsgut.

7.4.2.2.1 Bei einer Poreninjektion sollten die Abmessungen der miteinander verbundenen Hohlräume im Lockergestein (effektive Porosität) oder der miteinander verbundenen Klüfte im Fels vor der Bemessung des Injektionsguts bekannt sein.

7.4.2.2.2 Für Suspensionen sollten die Filterkriterien (Verhältnis der Partikelgröße zur Hohlraumgröße) und die Stabilität der Mischung unter den Injektionsdruckgradienten untersucht werden.

7.4.2.2.3 Die Kohäsion und Viskosität der Injektionsmischung sollte sich nach dem beabsichtigten Umfang der Bodenbehandlung und dem zulässigen Arbeitsdruck richten.

7.4.2.2.4 Ummantelungsmischungen für Manschettenrohre sind so auszulegen, dass ein Aufsteigen des Injektionsgutes im Ringraum verhindert und das Aufbrechen zwischen Manschette und Baugrund erleichtert wird.

7.4.2.3 Die Bestimmung der Abbindedauer hängt ab von

- der Dauer einer Injektionspasse,
- der Fließrate des Grundwassers,
- der zu erwartenden Einbringzeit einer vorbereiteten Injektionsgutcharge.

7.4.3 Parameter und Kriterien

7.4.3.1 In der Ausführungsplanung sind die Wertebereiche und die Mittelwerte der relevanten Injektionsgut- oder Mörtelparameter für jede zur Verwendung vorgesehene Mischung anzugeben.

7.4.3.2 Das Verfahren zur Prüfung der relevanten Injektionsgut- und Mörtelparameter ist festzulegen.

ANMERKUNG 1 In Anhang B ist ein Leitfaden enthalten, der angibt, wie einige Parameter gemessen werden können.

ANMERKUNG 2 Für Lockergestein kann ein Injizierbarkeitsverhältnis auf der Grundlage der Korngrößenverteilung wie D_{10}/d_{95} oder D_{15}/d_{85} verwendet werden, um die Eindringfähigkeit von partikulärem Injektionsgut zu beurteilen (siehe Glossar, Anhang A). In Festgestein wird das Verhältnis der maximalen Partikelgröße zur Öffnungsweite in ähnlicher Weise berücksichtigt.

7.4.3.3 Die zulässigen Höchst- und Mindesttemperaturen des Injektionsguts während der Verarbeitung und Einbringung sollten festgelegt werden.

7.4.3.4 Grenzkriterien zur Änderung der Mischungsbemessung sollten zu Beginn der Arbeiten für folgende Fälle festgelegt werden:

- die Aufnahme an Injektionsgut übersteigt die Annahmen der Ausführungsplanung erheblich;
- das Injektionsgut mit der Bemessungsmischung kann nur begrenzt oder gar nicht aufgenommen werden;
- es kommt zu unerwünschten Baugrundbewegungen.

7.4.4 Anwendbarkeit

Die für unterschiedliche Baugrundarten zu verwendenden Injektionsgutarten sind in Anhang B, Tabelle B.1 aufgeführt.

7.5 Einbringung des Injektionsgutes

7.5.1 Allgemeines

7.5.1.1 Die Injektionsverfahren sind speziell für jede Anwendung in Abhängigkeit von den Bodenverhältnissen und dem Ziel der Bodenbehandlung auszuwählen.

7.5.1.2 Folgende Parameter bestimmen das Injektionsverfahren:

- Volumen des Injektions v pro Injektion;
- Injektionsdruck P ;
- Durchflussrate bzw. Einbringgeschwindigkeit Q ;
- Rheologie des Injektionsguts und deren Entwicklung über die Zeit;
- Abfolge der Injektion; und
- Pumpdauer.

7.5.1.3 Die Ausführungsplanung sollte angeben, wie die Injektionsparameter während der Einbringung verändert werden können.

7.5.1.4 Die hydraulischen Auswirkungen der Einbringung des Injektionsguts in den Baugrund (z. B. Durchlässigkeit, hydraulisches Gefälle) sind zu berücksichtigen.

7.5.2 Bohrraster und Bohrungsplanung

7.5.2.1 Die Anordnung der Bohrlöcher und die Positionierung der Injektionsstellen sind abhängig von

- der beabsichtigten geometrischen Form des zu behandelnden Baugrunds,
- den physikalischen Einschränkungen, die Einfluss auf die Anordnung der Bohrlöcher haben,
- den Bohrtoleranzen,
- einer Bewertung der zu erwartenden Injektionsreichweite (Aktionsradius) innerhalb des aufnehmenden Baugrunds, und
- den geologischen Bedingungen.

7.5.2.2 Wann immer möglich sollten Versuche auf der Baustelle durchgeführt werden, um die Ausführungsplanung zu optimieren.

7.5.2.3 Die Lage, Neigung und Länge aller vorgesehenen Injektionsbohrlöcher sind in einem Plan anzugeben und durchnummerieren.

7.5.2.4 Wenn in der Ausführungsplanung eine Toleranz für die Bohrlochabweichung angegeben ist, darf diese nicht überschritten werden.

ANMERKUNG Typische Abweichungen könnten im Bereich zwischen 1 % und 4 % der Bohrtiefe liegen und eine Anpassung des Bohrlochabstands kann erforderlich sein, um gegebenenfalls Abweichungen auszugleichen.

7.5.3 Injektionsabfolge

7.5.3.1 In der Planung sind folgende Variablen festzulegen:

- die Art und Weise, wie die Behandlung des betreffenden Baugrunds verlaufen soll (von innen nach außen, von außen nach innen, von oben nach unten oder von unten nach oben, mit Abstandhalbierung usw.);
- die Anzahl der Injektionsphasen;

- die Anzahl der Injektionsstufen je Bohrloch;
- die Anzahl der Injektionspassen pro Stufe; und
- das Volumen und die Art des Injektionsguts für jede Passe.

7.5.4 Injektionsdruck

7.5.4.1 Der an der Injektionspumpe und/oder am Bohrlochmund gemessene Injektionsdruck unterscheidet sich von dem „wirksamen Druck“ im Baugrund.

7.5.4.2 In felsigem Grund kann der Wert des maximalen Injektionsdrucks im Verhältnis zu dem Druck festgelegt werden, bei dem eines der folgenden Ereignisse eintritt:

- der Fels bricht unter Spannung (hydraulische Rissbildung);
- überwiegend waagerechte Ebenen im Fels werden zerteilt und es kommt zu Verdrängung (hydraulische Hebung); oder
- eine Aufweitung der behandelten Klüfte tritt auf (hydraulische Hebung).

7.5.4.3 Bei der verdrängungsfreien Injektion ist der zulässige Injektionsdruck der maximale Druck, bei dem ein Injektionsgut in den Baugrund eingebracht werden darf, um eine unerwünschte Verformung des Bodens zu vermeiden.

ANMERKUNG Bei der verdrängungsfreien Injektion im Lockergestein hängt der effektive Injektionsdruck (oder Grenzdruck) vom Begrenzungsdruck an der Injektionsstelle ab. Aus praktischer Sicht ist ein wirksamer Mindestdruck von 100 KPa (1,0 bar) erforderlich, um das Fließen des Injektionsguts in die Poren zu gewährleisten.

7.5.4.4 Bei der Verdrängungsinjektion muss der angewandte Druck eine kontrollierte Verformung des Baugrunds ermöglichen.

ANMERKUNG Die begrenzenden Faktoren für die Verdrängungsinjektion sind das Injektionsgutvolumen und die resultierende Verformung, in der Regel jedoch nicht der Druck.

7.6 Überwachungs- und Kontrollkriterien

7.6.1 In der Ausführungsplanung sind folgende Kriterien für die Überwachung und Kontrolle festzulegen und die Prüfung dieser Kriterien ist vor, während und nach den Injektionsarbeiten umzusetzen:

- die Eigenschaften des Injektionsguts während der Verarbeitung und Einbringung;
- die Toleranzen für die Richtung und Neigung der Bohrlöcher (Bohrgenauigkeit);
- die Kriterien für die Beendigung der Injektion nach jeder Passe;
- die Ergebnisse nach jeder Injektionsphase und/oder des Bauvorhabens;
- Bewegung oder Verformungen des Baugrunds;
- chemische Zusammensetzung des Wassers;
- Wasserstände in bestehenden Schächten/Brunnen oder Beobachtungsbohrlöchern.

7.6.2 Den Kriterien für die Beendigung einer Injektionspasse sollten die folgenden Parameter zugrunde liegen:

- Grenzvolumen und/oder -druck (oder Zeit bei einem bestimmten Druck);
- andere Grenzwerte wie die Mindestdurchflussrate usw.;
- Bodenbewegung durch Überschreitung eines Grenzwertes bei der Injektion;
- Austritt von Injektionsgut an der Oberfläche, in Gebäuden oder in angrenzenden Bereichen und Bauwerken;
- Umläufigkeit des Injektionsguts am Packer.

7.6.3 In der Ausführungsplanung sind die Kontrollkriterien und Prüfungen festzulegen, die zur Überprüfung des Erfolgs der Injektionsarbeiten erforderlich sind.

8 Ausführung

8.1 Allgemeines

8.1.1 Die Ausführungsphase ist von kompetentem und qualifiziertem Personal durchführen und überwachen zu lassen.

8.1.2 Wenn während der Ausführung merkliche Abweichungen von den Planungsannahmen beobachtet werden, ist der Grund dafür ausfindig zu machen und das Injektionsverfahren an die neuen Bedingungen anzupassen.

8.1.3 Die Planer sind an Entscheidungen über Anpassungen der Leistungsbeschreibung zu beteiligen.

8.2 Bohren

8.2.1 Das ausgewählte Bohrverfahren muss für die Standortbedingungen und das anzuwendende Injektionsverfahren geeignet sein, z. B.:

ANMERKUNG Die folgenden Situationen könnten den Einsatz spezieller Maßnahmen beim Bohren erfordern:

- instabiler Baugrund;
- artesische Bedingungen;
- geneigte Bohrungen;
- unzulässige Abweichung des Bohrlochs;
- bestehende empfindliche Bauwerke.

8.2.2 Bohrungen können zu übermäßigen Erdbewegungen führen. An kritischen Stellen sind besondere Maßnahmen zu ergreifen, z. B. Verrohrung.

8.2.3 Spülmedien und Bohrtechniken dürfen nachfolgende Injektionsarbeiten nicht behindern, z. B. durch örtliche Veränderungen der Durchlässigkeit an der Injektionsstelle.

ANMERKUNG Für Felsinjektionen ist das Spülen mit Wasser das übliche Verfahren, aber es kann auch eine Luftspülung beim Bohren mit anschließender Wasserspülung angewendet werden.

8.2.4 Bei Bedarf sollten vorzeitig verstopfte Bohrlöcher oder Bohrlöcher mit unzulässiger Abweichung durch neue ersetzt werden.

8.2.5 Wenn in offenen Löchern die Injektion nicht unmittelbar nach der Reinigung erfolgt, ist der Lochmund zu schützen, um eine Verschmutzung des Bohrlochs zu vermeiden.

8.2.6 Nach dem Bohren sind offene Bohrlöcher in felsigem Baugrund zu spülen, um Gesteinsschutt und loses Material zu entfernen, sofern der Fels durch diesen Prozess nicht beeinträchtigt wird.

8.3 Aufbereitung des Injektionsguts

8.3.1 Lagerung

8.3.1.1 Bei der Lagerung müssen die Bestandteile des Injektionsgutes vor Witterungseinflüssen (insbesondere Temperatur und Luftfeuchte) geschützt werden.

8.3.2 Aufbereitung von Chargen und Mischen

8.3.2.1 Bei der Lagerung, Handhabung und Verteilung ist eine Verunreinigung des Injektionsguts und seiner Bestandteile zu vermeiden.

8.3.2.2 Die Gerätschaften sind zu reinigen und so aufzubewahren, dass Kontamination vermieden wird.

8.3.2.3 Die rheologischen oder anderen Eigenschaften des gemischten Injektionsguts dürfen vor der Verwendung nicht unzulässig verändert werden.

8.3.2.4 Behälter, Injektionsrohre und anderes Injektionszubehör für chemisches Injektionsgut müssen aus Werkstoffen bestehen, die mit den verwendeten Chemikalien nicht reagieren.

8.3.2.5 Bei bentonithaltigem Injektionsgut sollte der Bentonit vor Zugabe der Bindemittel hydratisiert werden.

8.3.2.6 Die Dosierung der Bestandteile des Injektionsguts ist mit kalibrierten Messgeräten unter Beachtung der für diese Arbeiten festgelegten Toleranzen vorzunehmen.

8.3.2.7 Die Mischer und die Mischverfahren sind so auszuwählen, dass ein homogenes Injektionsgut entsteht.

8.3.2.8 Um eine ununterbrochene Förderung von partikulärem Injektionsgut zu ermöglichen, sollte zwischen den Misch tanks und der/den Pumpe(n) ein Zwischenlagertank vorgesehen werden.

8.3.2.9 Injektionsgut mit kurzer Abbindedauer sollte so nah wie möglich an der Injektionsstelle gemischt werden.

8.3.3 Pumpen und Verteilen

8.3.3.1 Die Injektionspumpen sollten einen geeigneten Durchfluss- und Druckbereich für die festgelegte Injektionstechnik aufweisen.

8.3.3.2 Der Einspritzdruck sollte so nah wie möglich an der Injektionsstelle gemessen werden.

Die Injektionssysteme müssen die Injektionsdrücke so regeln, dass die Gefahr von unbeabsichtigter und/oder unerkannter hydraulischer Rissbildung minimiert wird.

Wenn die Zubereitungsanlage für das Injektionsgut weiter entfernt von der Injektionsstelle liegt, sollte eine Zwischenstation in Betracht gezogen werden.

Jede Komponente des Verteilsystems muss dem maximal zu erwartenden Pumpendruck standhalten können.

8.3.3.3 Der Durchmesser des Injektionsrohrs ist nach den folgenden Kriterien zu wählen:

- Er muss Strömungsgeschwindigkeiten erlauben, die hoch genug sind, um eine Entmischung der partikulären Injektionsmischung zu vermeiden.
- Er darf sich nicht zu stark auf die Förderhöhe auswirken.

8.3.3.4 Bei Verwendung von Manschettenrohren sollte das Innere des Injektionsrohrs am Ende jeder Injektionsphase ausgewaschen werden.

8.4 Einbringung des Injektionsguts

8.4.1 Allgemeines

8.4.1.1 Die allgemeine Einbringung von Injektionsgut in Locker- und Festgestein ist in Tabelle 1 zusammengefasst, wobei eine Stufe als eine vorbestimmte Injektionsstrecke definiert ist, die entweder durch einen Doppelpacker oder durch einen Einzelpacker und die Bohrlochsohle begrenzt wird.

Tabelle 1 — Injektionsstrategien

	FESTGESTEIN			LOCKER- GESTEIN
	standfest	relativ standfest	nicht standfest	
Offenes Loch Aufsteigende Injektionsstufe	X			
Offenes Loch Absteigende Injektionsstufe	X	X	X	
MPSP¹	X	X		
Manschettenrohr			X	X
Bohrstange		X	X	X
Verrohrung		X	X	X
Lanze			X	X
ANMERKUNG 1 X = zutreffend				
ANMERKUNG 2 MPSP1 steht für Multipacker mit Manschettenrohr.				

8.4.1.2 Große Öffnungen (Hohlräume, Kavernen usw.) sollten im Allgemeinen drucklos verfüllt werden, entweder direkt oder über ein bis zum Boden der Öffnung reichendes Trichterrohr.

8.4.1.3 Bei der Injektion in Lockergestein sollten benachbarte Manschettenrohre als Vorsichtsmaßnahme gegen Austritt von Injektionsgut gespült werden.

8.4.2 Packer

8.4.2.1 Die Packer müssen bei maximalem Injektionsdruck vollkommen abdichten.

8.4.2.2 Bei der Injektion in ein offenes Loch muss der Packer lang genug sein, um das Risiko eines Umfließens durch das Injektionsgut zu minimieren.

8.4.2.3 Bei der Injektion in ein offenes Loch, in dem das Injektionsgut dazu neigt, die Packer zu umfließen, sollte ein Spülsystem zum Auswaschen des umfließenden Injektionsguts eingebaut werden.

8.4.2.4 Bei der Injektion durch ein Manschettenrohr mit einem Doppelpacker ist der Abstand zwischen den Packern entsprechend dem Manschettenabstand zu wählen.

8.4.3 Besondere Bedingungen

8.4.3.1 Wenn die Injektion unter Bedingungen (vermutet oder bekannt) mit fließendem Grundwasser erfolgt, sollte übermäßige Verdünnung oder ein erheblicher Verlust von Injektionsgut vermieden werden.

8.4.3.2 Abhängig von den Bodenverhältnissen, dem beabsichtigten Zweck und dem Grundwasserdurchfluss sollten geeignete Vorkehrungen getroffen werden, z. B.:

- die Verwendung von Injektionsgut mit kurzer oder extrem kurzer Abbindedauer (z. B. wasserreaktive Harze, zementbasierte Injektionsmittel mit Natriumsilikat usw.);
- die Verwendung von viskosem Injektionsgut und/oder Injektionsgut mit einem niedrigen Verhältnis von Wasser zu Feststoffen;
- die Verwendung von Anti-Auswaschzusätzen zur Begrenzung der Verdünnung und Entmischung;
- die Verwendung von thixotropen Zusatzstoffen.

8.4.3.3 Bei der Injektion von Suspensionen in Fels, wo Wasserverlust durch Sog oder Druckfiltration auftreten kann, sollte ein wasserrückhaltendes Injektionsgut gewählt werden.

8.4.3.4 Der Injektionsprozess ist so zu steuern, dass Undichtigkeiten minimiert und unzulässige Verformungen oder Verdrängung des Baugrunds vermieden werden, insbesondere wenn empfindliche Bauwerke betroffen sein könnten.

8.4.3.5 Bei der Einbringung und Handhabung von Injektionsgut und dessen Bestandteilen sind Vorkehrungen zu treffen, um Undichtigkeiten und Verschütten zu vermeiden, vor allem, um das Wegrinnen von Flüssigkeiten oder Injektionsgut aus dem Baustellenbereich zu verhindern.

8.5 Injektionsabläufe

8.5.1 Die maximale Stufenlänge im Fels sollte entsprechend der Gesteinsqualität und/oder des Wasserzu- bzw. -abflusses gewählt werden.

8.5.2 Bei der Injektion in Lockergestein durch ein Manschettenrohr sollten die Injektionsstufen in der Regel nicht länger als 1 m sein.

8.5.3 Während der Ausführung sind Entscheidungen über Abstand, Behandlungsabfolge, Parameter sowie die Fortsetzung oder Beendigung des Injektionsvorgangs anhand von Beobachtungen zu treffen.

8.5.4 Wenn mehrere Löcher durch eine Injektion von oben nach unten verpresst werden, sollte die obere Stufe in den Löchern dieser Behandlungsabfolge vor dem Bohren und Injizieren der nächsten Stufe in den Nachbarlöchern verpresst werden.

8.5.5 Ausgewählte Primärlöcher sollten zuerst als Erkundungslöcher gebohrt und/oder gebohrt und verpresst werden, außer in Bereichen früherer Probeinjektionen, um

- eine bessere Beschreibung der geologischen und hydrologischen Situation zu ermöglichen,
- die endgültige Auswahl der Injektionslochtiefe für die verbleibenden Primärbohrlöcher zu ermöglichen,
- die Injektionsmischung bzw. die Injektionsparameter besser abstimmen und planen zu können.

8.5.6 Die Injektionsabfolge sollte so gewählt werden, dass ein seitliches Vordringen des Injektionsguts über den beabsichtigten Behandlungsbereich hinaus begrenzt oder das Einschließen von Grundwasser verhindert wird.

9 Bauaufsicht, Prüfung und Überwachung

9.1 Allgemeines

9.1.1 Das Maß an Aufsicht über den Injektionsprozess muss sich nach den Angaben im Leistungsverzeichnis und/oder der Verfahrensanweisung richten.

9.1.2 Die Überwachungs- und Kontrollverfahren müssen eine Dokumentation vorsehen, die auf detaillierten Beobachtungen jeder Phase der Arbeiten beruht.

9.1.3 Die Dokumentation der Überwachung und Kontrolle ist Änderungen des Leistungsverzeichnisses und oder der Verfahrensanweisung zugrunde zu legen.

9.2 Durchführung der Prüfungen

9.2.1 Von den Bestandteilen der Injektionsmischung sowie von der Mischung selbst sind regelmäßig Proben zu nehmen und auf Übereinstimmung mit dem Inspektions- und Prüfplan zu überprüfen.

9.2.2 Der Inspektions- und Prüfplan muss die Art und Häufigkeit der durchzuführenden Prüfungen sowie die erforderlichen Abnahmewerte und Toleranzen enthalten.

9.2.3 Prüfverfahren, die für die folgenden Injektionsmischungen verwendet werden sollten, sind in **Anhang B, Tabelle B1** aufgeführt:

- zementhaltige Suspensionen;
- Mörtel;
- chemisches Injektionsgut.

9.2.4 Wenn andere Injektionsgutarten verwendet werden sollen, muss sich der Inspektions- und Prüfplan auf die vom Hersteller empfohlenen Prüfungen beziehen, falls keine einschlägigen Erfahrungen vorliegen.

9.2.5 Wenn die Bedingungen vor Ort (insbesondere die Temperatur) wesentlich von den Laborbedingungen abweichen, sollte in Versuchen festgestellt werden, ob diese Bedingungen von kritischer Relevanz für das Injektionsverfahren sind.

9.3 Überwachung und Kontrolle

9.3.1 Allgemeines

9.3.1.1 Vor Beginn der Arbeiten sollte, wie in Abschnitt 4.1 beschrieben, eine Standort- und Zustandsuntersuchung an allen Bauwerken und Versorgungseinrichtungen im Einflussbereich der Injektionsarbeiten durchgeführt werden. Weitere Messungen und Untersuchungen sollten nach Bedarf durchgeführt werden.

9.3.1.2 Die Anforderungen an die Art, den Umfang und die Genauigkeit der Überwachung innerhalb und außerhalb der Baustelle sind vor Beginn der Arbeiten auf der Baustelle eindeutig in den Projektunterlagen festzuhalten.

9.3.1.3 Die Injektionsdrücke, die injizierte Menge und die Durchflussrate sollten für jede Injektionsphase und für die fortlaufende Analyse im weiteren Verlauf der Arbeiten in Echtzeit aufgezeichnet werden.

9.3.1.4 Automatisierte Systeme sollten zur Überwachung, Kontrolle und Aufzeichnung der folgenden Daten verwendet werden:

- Injektionsparameter;
- Bohren der Löcher und zugehörige Parameter.

ANMERKUNG Durch die Automatisierung der Misch- und Verteilsysteme sowie den Einbau mechanischer, analoger oder, vorzugsweise, automatisierter Aufzeichnungsgeräte zur Echtzeitüberwachung und Kontrolle der Injektionsparameter kann die Überwachung von Injektionsbaustellen erleichtert werden.

9.3.1.5 Geeignete (festgelegte) Kontrollprüfungen sollten zum aus praktischer Sicht frühestmöglichen Zeitpunkt durchgeführt werden, um den Erfolg der Injektion festzustellen.

9.3.2 Auswirkungen auf die Umwelt

9.3.2.1 Eine Umweltverträglichkeitsprüfung ist vor Beginn der Injektionsarbeiten durchzuführen.

9.3.2.2 Die ursprünglichen Standortbedingungen sollten vor Beginn der Arbeiten unter besonderer Berücksichtigung der Grundwasserverhältnisse (chemische Zusammensetzung, Fließgeschwindigkeit und Fließrichtung, bestehende und geplante Grundwassernutzung und Abstand zwischen Entnahmestellen) bewertet werden.

9.3.2.3 Die Einbringung des Injektionsguts und die Dauer möglicher Auswirkungen sollten berücksichtigt werden.

9.3.3 Validierung der Injektionsarbeiten

9.3.3.1 Die Validierungsverfahren sind in Bezug auf das Ziel der Bodenbehandlung auszuwählen.

9.3.3.2 Prüfungen sollten nach der Injektion und ggf. davor durchgeführt werden, um die Injektionsarbeiten zu bewerten.

9.3.3.3 Die Prüfungen können *In-situ*-, *Ex-situ*- oder Feldversuche umfassen. Diese Versuche können Prüfungen der Durchlässigkeit, der mechanischen Eigenschaften usw. einschließen.

9.3.4 Überwachung der Baugrundbewegung

9.3.4.1 Zur Überwachung von Baugrund- und/oder Bauwerksbewegungen sollten geeignete Messgeräte mit ausreichender Genauigkeit in Bezug auf die für das Bauvorhaben angegebenen Grenzwertabweichungen installiert werden.