

Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau)

Injektionen

Deutsche Fassung prEN 12715 : 1997

DIN**EN 12715**

Einsprüche bis 31. Mai 1997

ICS 93.020

Execution of special geotechnical works – Grouting;
German version prEN 12715 : 1997Vorgesehen als
teilweiser Ersatz für
DIN 4093 : 1987-09Exécution de travaux géotechniques spéciaux – Injection;
Version allemande prEN 12715 : 1997**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

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

Stellungnahmen werden erbeten an den Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Nationales Vorwort

Der vorliegende Europäische Norm-Entwurf 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.

Änderungen

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

- a) Grundlegende Überarbeitung unter den Gesichtspunkten einer Europäischen Harmonisierung und
- b) Berücksichtigung des Eurocode 7 hinsichtlich der Ausführung von Injektionen.

Fortsetzung 58 Seiten prEN

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

EUROPAISCHE NORM

ENTWURF
prEN 12715

EUROPEAN STANDARD

NORME EUROPEENNE

Januar 1997

ICS

Deskriptoren:

Deutsche Fassung

Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten
(Spezialtiefbau) - Injektionen

Execution of special geotechnical works Exécution des travaux géotechniques
- Grouting spéciaux - Injection

Dieser Europäische Norm-Entwurf wird den CEN-Mitgliedern zur CEN-Umfrage vorgelegt. Er wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 288 erstellt.

Wenn aus diesem Norm-Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CEN-Mitglieder 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.

Dieser Europäische Norm-Entwurf wurde von CEN in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) erstellt. 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 und dem Vereinigten Königreich.

CEN

Europäisches Komitee für Normung
European Committee for Standardization
Comité Européen de Normalisation

Zentralsekretariat: rue de Stassart 36, B - 1050 Brüssel

© 1997 Das Copyright ist den CEN-Mitgliedern vorbehalten.

Ref. Nr.  EN 12715:1997 D
Documents
Document Sharing Hub

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	6
3 Definitionen	7
4 Notwendige bautechnische Unterlagen	9
5 Baugrunduntersuchungen	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Durchlässigkeitsuntersuchung	11
5.3 Injektionsversuche im Untergrund und im Laboratorium	11
6 Baustoffe und Bauprodukte	12
6.1 Allgemeine Anforderungen	12
6.2 Baustoffe für das Injektionsgut	12
6.2.1 Hydraulische Binder und Zemente	12
6.2.2 Tone	12
6.2.3 Sand und Füller	13
6.2.4 Wasser	13
6.2.5 Chemische Produkte und Zusätze	13
6.2.6 Andere Stoffe	13
6.3 Injektionsgut	14
6.3.1 Allgemeines	14
6.3.2 Suspensionen	15
6.3.3 Lösungen	15
6.3.4 Mörtel	16
6.4 Probenahme und Prüfung	16
7 Hinweise für die Planung	17
7.1 Vorbemerkungen	17
7.2 Grundlage und Ziele der Planung	17
7.3 Injektionsprinzipien und -verfahren	19
7.3.1 Injektion ohne Baugrundverdrängung (verdrängungsfreie Injektion)	19
7.3.2 Injektion mit Baugrundverdrängung (Verdrängungsinjektion)	20
7.4 Injektionsgut	21
7.5 Einbringen des Injektionsgutes	24
7.5.1 Allgemeines	24
7.5.2 Verteilung und Planung der Bohrlöcher	25
7.5.3 Injektionsablauf	25
7.5.4 Injektionsdruck	26
7.6 Überwachungs- und Kontrollkriterien	26
8 Ausführung	27
8.1 Allgemeines	27
8.2 Bohren	28
8.3 Herstellung des Injektionsgutes	29
8.3.1 Aufbewahrung	29
8.3.2 Gebindeherstellung und Mischen	29
8.3.3 Pumpen und Verteilung	29
8.4 Injektion	30
8.5 Injektionsabläufe	32
9 Beaufsichtigung und Kontrolle der Ausführung	33

9.1	Vorbemerkungen.....	33
9.2	Beaufsichtigung.....	33
9.3	Überwachung und Kontrolle	34
9.3.1	Allgemeines.....	34
9.3.2	Umwelt.....	35
9.3.3	Kontrolle der Ziele	35
9.3.4	Baugrundbewegung	35
9.3.5	Bohrlochherstellung.....	35
9.3.6	Injektionsgut.....	36
10	Arbeitsunterlagen.....	36
11	Spezielle Aspekte (Umwelt, Sicherheit auf der Baustelle)	38
11.1	Sicherheit des Personals.....	38
11.2	Umwelt.....	39

Anhänge

Anhang A (normativ)	41
A.1 Messung von Injektionsparametern.....	41
Anhang B (informativ)	45
B.1 Literaturhinweise	45
B.2 Glossar.....	45
B.3 GIN- und TPA-Verfahren.....	55

Vorwort

Diese Norm wurde von der Arbeitsgruppe (WG) 6 des Technischen Komitees (TC 288) für die Ausführung spezieller geotechnischer Arbeiten des Europäischen Komitees für Normung (CEN) erarbeitet. Ziel des TC 288 ist die Normung des Ablaufs geotechnischer Bauarbeiten (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 unter Berücksichtigung von Eurocode 7, ENV 1997-1, erstellt : "Planung, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik ; allgemeine Regeln". Die vorliegende Norm beschäftigt sich mit Planung nur, wenn unumgänglich, erfaßt jedoch alle Anforderungen an Bauausführung und Bauaufsicht.

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

Die Arbeitsgruppe nahm ihre Arbeit im Juni 1994 auf.

Mitglieder der Arbeitsgruppe 6 :

Vorsitz	Y. Leblais	(Frankreich)
Technische Redaktion	H. Gonin	(Frankreich)
Assistent des technischen Redakteurs	U. Boltze	(Frankreich)
Nationale Vertreter	C. Biserna	(Italien)
	R. Granata	(Italien)
	R. R. W Harris	(Vereinigtes Königreich)
	X. Jullian	(Frankreich)
	Y. Lacour	(Frankreich)
	G. Ruppel	(Deutschland)
	D. A. Santos Moreno	(Spanien)
	G. Stadler	(Österreich)
	O. Stenstad	(Norwegen) (seit Mai 1995)
	H. Stump	(Schweiz)
	J. van der Sluis	(Niederlande)

1 Anwendungsbereich

- 1) Diese Norm ist auf Ausführung, Prüfung und Überwachung geotechnischer Injektionsarbeiten anwendbar. Da ENV 1997-4 noch nicht verfügbar ist, werden bestimmte Planungsaspekte erfaßt.
- 2) Eine Injektion zu geotechnischen Zwecken (ingenieurgeologische Injektion) ist ein Vorgang, bei dem die Einbringung eines pumpbaren Materials in den Baugrund indirekt kontrolliert wird, indem die rheologischen Kennwerte des Materials entsprechend ausgewählt und die Einbringungsparameter (Druck, Volumen und Durchflußrate) verändert werden.
- 3) Folgende Prinzipien und Verfahren der geotechnischen Injektion werden in dieser Norm behandelt :
 - Injektion mit Baugrundverdrängung (Verdichtungsinjektion, hydraulische Rißbildung) ;
 - Injektion ohne Baugrundverdrängung (Abdichtungsinjektion, Spalteninjektion, Hohlraumverfüllung).
- 4) Die folgenden speziellen Injektionsaktivitäten, die im allgemeinen bei Bauarbeiten anfallen, werden in dieser Norm nicht erfaßt :
 - Vorspannen von Betontunnelauskleidungen ;
 - Injektionen mit dem Ziel, der Schrumpfung des Betons beim Erhärten entgegenzuwirken, besonders bei Bogenstaudämmen ;
 - Baureparaturarbeiten ;
 - Verbesserung des chemischen Gleichgewichts ;
 - Verankerungsinjektionen (siehe Europäische Norm EN) ;
 - Düsenstrahlarbeiten (siehe Europäische Norm EN).

2 Normative Verweisungen

Diese 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 Norm, falls sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in bezug genommenen Publikation.

EN 196	Prüfverfahren für Zement
ENV 197-1	Zement ; Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien – Teil 1 : Allgemein gebräuchlicher Zement
ENV 206	Beton ; Eigenschaften, Herstellung, Verarbeitung und Gütenachweis
ENV 451	Prüfverfahren für Flugasche
ENV 1997-1	Eurocode 7 : Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1 : Allgemeine Regeln
prEN 934-6	Zusatzstoffe für Beton, Mörtel und Injektionsgut
prEN 480-1 bis 12	Zusatzstoffe für Beton, Mörtel und Injektionsgut
prEN ISO 4109	Essais du béton, détermination de la consistance, essai d'affaissement
ISO TC 71/SC 3N 143	Classification of chemically aggressive environmental conditions affecting concrete
ISO TC 71/SC 3N 144	Classification of climatic actions of environmental conditions affecting concrete
ISO TC 71/SC 3N 145	Classification of environmental exposure conditions for concrete structures

3 Definitionen

Die in diesem Abschnitt angegebenen Definitionen betreffen nur die wichtigsten Benennungen für Injektionen. Weitere Definitionen enthält das Glossar im Anhang B.2.

3.1 Hohlraumverfüllung : Einbringen von Injektionsgut mit hohem Feststoffgehalt, um größere Hohlräume zu füllen.

3.2 Claquage : Siehe hydraulische Rißbildung.

3.3 Verdichtungsinjektion (Kompaktionsinjektion) : Injektionsverfahren mit Verdrängung des Baugrundes zu dem Zweck, Mörtel mit hoher innerer Reibung in den Boden zu pressen, ohne ihn aufzubrechen.

3.4 Kontaktinjektion : Einbringen von Injektionsgut in den Raum zwischen Bauwerken und dem Baugrund. Die Benennung wird auch verwendet, um die Injektion der Kontaktfläche zwischen einem Damm und seinem Fundament zu beschreiben.

3.5 Verdrängungsinjektion : Einbringen von Injektionsgut in einen Baugrund, so daß der Boden bewegt, verdichtet oder verdrängt wird.

3.6 Wirksamer Druck : Tatsächlicher Druck des Injektionsgutes, der auf den Baugrund einwirkt.

3.7 Spalteninjektion : Einbringen von Injektionsgut in Spalten, Fugen, Risse und Unstetigkeitsflächen, besonders in Felsgestein.

3.8 Drucklose Verfüllung : Einbringen des Injektionsgutes nur unter dem Druck, den die Höhe der Flüssigkeitssäule im Bohrloch ausübt. Manchmal als drucklose Verfüllung durch offenes Trichterrohr bezeichnet.

3.9 Injektionsgut : Pumpbares Material (Suspension, Lösung, Emulsion oder Mörtel), das in eine Formation aus Locker- oder Felsgestein eingepreßt wird und nach einer bestimmten Zeit durch Abbinden unter Veränderung der physikalischen Eigenschaften der Formation erhärtet.

3.10 Injektionsdruck : Druck, der während des Injektionsvorganges an festgelegten Stellen (im allgemeinen an der Pumpe oder am Bohrlochkopf) überwacht wird.

3.11 Hydraulische Rißbildung : Bildung von Rissen in einer Formation, eingeleitet durch das Einbringen von Wasser oder Injektionsgut unter einem Druck, der die örtliche Zugfestigkeit und den Grenzdruck überschreitet ; auch als Frac-Behandlung, hydraulische Spaltenbildung, hydraulische Hebung oder Claquage bezeichnet.

3.12 Eindringinjektion : Verfüllen von Fugen oder Rissen im Fels oder in Porenräumen im Boden mit Injektionsgut ohne Baugrundverdrängung. "Eindringinjektion" ist die übergeordnete Benennung für Abdichtungsinjektion (Imprägnation durch Porenverfüllung), Spalteninjektion und Kontaktinjektion.

3.13 Abdichtungsinjektion (Imprägnation durch Porenverfüllung) : Verdrängung von Porenwasser oder Gas aus einem porösen Injektionskörper durch Injektionsgut bei Injektionsdrücken, die so gering sind, daß keine Baugrundverdrängung auftritt.

3.14 Verdrängungsfreie Injektion (Injektion ohne Baugrundverdrängung) : Ersatz des natürlichen Porenwassers in den vorhandenen zugänglichen Hohlräumen des Baugrundes durch eine Flüssigkeit oder Mörtel ohne merkliche Baugrundverdrängung. "Verdrängungsfreie Injektion" ist die übergeordnete Benennung für Eindringinjektion und Hohlraumverfüllung.

3.15 Stabile Suspension : Suspension, die in 2 Stunden bei einer Temperatur von 20°C im oberen Bereich eines 1 000-ml-Maßzylinders mit 60 mm Innendurchmesser weniger als 5 % Reinwasser ausblutet.

3.16 Stufeninjektion (Abschnittsinjektion) : In Einzelschritten oder Stufen nacheinander erfolgendes abschnittsweises Einbringen des Injektionsgutes in ein Bohrloch ; im Gegensatz zum Einbringen des gesamten Injektionsgutes in einem einzigen Arbeitsschritt.

3.17 Symbole und Einheiten :

Symbol	Benennung	Einheit
T	Temperatur	°C
V	Injiziertes Volumen	m ³
P	Injektionsdruck	Pa
Q	Injektionsgeschwindigkeit oder Durchflußrate	m ³ /s oder l/s
k	Permeabilität *	m ²
K	Durchlässigkeitsbeiwert (hydraulische Leitfähigkeit)	m/s
i	Hydraulischer Gradient	dimensionslos
d_{10}, d_{15} D_{85}, D_{90}	Größte Teilchengröße innerhalb der kleinsten 10 % bzw. 15 % des Siebdurchgangs des Injektionsgutes Größte Korngröße innerhalb der kleinsten 85 % bzw. 90 % des Siebdurchgangs des Untergrundes	mm
t	Abbindedauer, Gelierzeit, Topfzeit, Filmzeit, Gebindeverarbeitungszeit	s
σ_c τ_f	Druckfestigkeit Scherfestigkeit	Pa
σ τ	Normalspannung Scherspannung	Pa
ε	Verformbarkeit	dimensionslos
g	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 ³
γ	Wichte	kN/m ³
t_M	Ausfließzeit (Marsh)	s
R	Aktionsradius	m
1 Pa = 1 N/m² = 10⁻⁵ bar 1 Darcy = 0,987 × 10⁻¹² m² 1) In der Geotechnik ist es üblich, für die hydraulische Leitfähigkeit (den Durchlässigkeitsbeiwert) die Bezeichnung k anzuwenden. Diese Zuordnung gilt jedoch auch in der Fels- und Flüssigkeitsmechanik.		

4 Notwendige bautechnische Unterlagen

- 1) Alle für die Ausführung von Injektionsarbeiten auf der Baustelle wichtigen Angaben sollten zusammen mit den Arbeitsvorschriften bereitgestellt werden.
- 2) Vor Beginn der Injektionsarbeiten müssen folgende fachliche Angaben auf der Baustelle verfügbar sein :
 - geologische und geotechnische Bedingungen (siehe Abschnitt 5) ;
 - Koordinaten der Baustelle im nationalen Koordinatensystem ;
 - Baustellenbedingungen, z. B. Größe, Böschungswinkel, Zugang, Begrenzungen ;
 - Einschränkungen für die Arbeiten unter Beachtung von Umwelt, Gesetze oder Behördenauflagen ;
 - Vorhandensein, Lage und Zustand von allen benachbarten Bauwerken, z. B. Gebäude, Straßen, Haus- oder Versorgungsanschlüsse, unterirdische Bauwerke und ihre Fundamente ;
 - alle gleichzeitig oder später durchzuführende Tätigkeiten, die auf die Arbeiten Einfluß nehmen können (z. B. Grundwasserabsenkung oder -neubildung, Tunnel- und andere Tiefbauarbeiten) ;
 - alle Verschmutzungen oder Gefährdungen der Untergrundes, die das Ausführungsverfahren oder die Sicherheit der Arbeitsumgebung beeinflussen können ;
 - alle Erfahrungen mit Injektions- oder anderen Tiefbauarbeiten auf oder in der Nähe der Baustelle oder relevante Erfahrungen bei Ausführung vergleichbarer Arbeiten unter ähnlichen Bedingungen ;
 - Planungsunterlagen und Vorschriften für die Arbeiten ;
 - 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.
- 3) Folgende Aspekte müssen vor Beginn der Arbeiten festgelegt werden und in schriftlicher Form auf der Baustelle verfügbar sein :
 - Anforderung und Verantwortlichkeit für eine Überprüfung des Zustandes benachbarter Bauwerke, Straßen, Versorgungsanschlüsse usw. vor Beginn 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 Baugrunduntersuchungen

5.1 Allgemeines

- 1) Allgemeine Anforderungen an die Baugrunduntersuchungen werden in den Abschnitten 3 und 7 von ENV 1997-1 sowie in entsprechenden nationalen Unterlagen angegeben.
- 2) für Planungszwecke sollten Baugrunduntersuchungen :
 - einen umfassenden geotechnischen Bericht liefern ;
 - die Aufnahmefähigkeit des Baugrundes für das Injektionsgut festlegen ;
 - eine Basis für die Wahl des Injektionsgutes bieten.
- 3) Für die Ausführung sollte der Untersuchungsbericht des Baugrundes folgende spezielle Angaben enthalten :
 - physikalische und chemische Kennwerte des Baugrundes ;
 - Höhe des Bodens an 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 ;
 - Richtung, Häufigkeit und Öffnungweite der Fugen im Fels ; Rezeptur und Beschaffenheit des Injektionsmaterials ;
 - Lage und Beschaffenheit verfüllter oder offener Hohlräume ;
 - Vorhandensein von Hindernissen, die besondere Bohr- und Injektionsverfahren oder -ausrüstungen erfordern ;
 - Vorhandensein und Charakter von lockerem oder fließendem Baugrund, der durch Bohr- oder Injektionsarbeiten gelockert, erweicht oder instabil werden kann, nachrutscht oder quillt ;
 - Grundwasserstände und -gradienten und ihre zeitabhängige Veränderung ;
 - Schichten mit hoher Grundwasserfließgeschwindigkeit und hoher Durchlässigkeit ;
 - Temperatur, chemische Zusammensetzung und organischer Anteil des Grundwassers oder des Baugrundes, falls mit Problemen zu rechnen ist.
- 4) Im Untersuchungsbericht sollten das geologische und geometrische Modell, die Hohlraumstruktur und ihre vermutliche Entwicklung kommentiert werden. Die Genauigkeit und die Grenzen des Modells sollten genannt werden.
- 5) Wenn zutreffend, sollten folgende spezielle Hinweise für das Bohren angegeben werden :
 - Lage und Ursache von Bohrkernverlusten, Verkantung des Bohrwerkzeugs ;
 - Zementierung von Abschnitten des Bohrloches und deren Gründe ;

- Wasserstand am Beginn und am Ende eines Bohrabschnittes, Bereiche mit Wasserverlust und -gewinn, Messungen des Umlaufwassers, der Wasserfarbe und der Farbänderungen ;
 - Verhalten der Bohrvorrichtung (ruckartige, schwere, ruhige, gleichmäßige Bewegung) ;
 - Vorschubgeschwindigkeit.
- 6) Besonders sorgfältige Untersuchungen sind für Injektionen im spannungsreichen Gebirge und in verunreinigtem Baugrund durchzuführen. Im spannungsreichen Gebirge sind vor der Planung des Injektionsprojekts die in-situ Spannungsbedingungen zu untersuchen. Für die Injektion von mit Gelen verunreinigte Böden ist die bakteriologische Zusammensetzung des Grundwasser und des Baugrundes zu untersuchen.
- 7) Die Bohrlöcher für die Baugrunduntersuchungen sind in geeigneter Weise zu verfüllen, wenn sie nicht mehr benötigt werden.

5.2 Durchlässigkeitsuntersuchung

- 1) Die Durchlässigkeit des Baugrundes darf
- einschätzt werden aus der Korngrößenverteilung des Bodens und/oder der Dichte des Baugrundes
 - einschätzt werden aus Laboratoriumsversuchen an Proben von ungestörtem oder wiederverdichtetem Boden ;
 - bestimmt werden aus In-situ-Durchlässigkeitsversuchen (Feldversuchen) oder großangelegten Pumpversuchen.

Geeignete Korrelationen mit den tatsächlichen Feld-Durchlässigkeiten sollten festgelegt werden.

- 2) Jede Bohrung zur Untersuchung des Baugrundes im Fels sollte auf Durchlässigkeit geprüft werden, um Wasseraufnahme zu bestimmen und wasserhaltige oder offene Bereiche im Bohrloch zu identifizieren. Das Bohrloch sollte entweder während des Bohrens oder unter Anwendung von Packern nach dem Bohren geprüft werden. Artesische Bereiche sind vor den Versuchen sorgfältig zu isolieren.
- 3) Im Fels werden Lugeon-Versuche angewendet, um eine allgemeine Übersicht über die Transmissivität des Baugrundes zu erhalten. Sie bieten jedoch nicht unbedingt eine zuverlässige Korrelation mit der Aufnahme eines bestimmten Injektionsgutes.

5.3 Injektionsversuche im Untergrund und im Laboratorium

- 1) Injektionsversuche im Untergrund (Feldversuche) werden zur Festlegung oder Validierung eines Injektionsverfahrens durchgeführt. Sie sollten im Rahmen der Baugrunduntersuchungen durchgeführt 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 zur Befürwortung oder Rechtfertigung eines Injektionsprojektes sind. Die Injektionsversuche sollten Angaben über Bohrlochabstand, Injektionsdruck und Aufnahme des Injektionsgutes liefern. Sie müssen gemeinsam mit dem für das endgültige Injektionsprogramm verantwortlichen Planer geplant und durchgeführt werden.

- 2) Die Grenzkriterien für die Eigenschaften des vorgesehenen Injektionsgutes sollten auf Grundlage der während der Feldinjektionsversuche gewonnenen Erfahrung festgelegt werden.
- 3) Für jeden Arbeitsschritt der Probeinjektionen sind ausführliche Aufzeichnungen zu machen.
- 4) Ein Hinweis auf die Baugrundbedingungen kann auch dadurch erhalten werden, daß Bodenproben unter Laboratoriumsbedingungen 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 Allgemeine Anforderungen

- 1) Alle Bestandteile des Injektionsgutes und das Injektionsgut müssen den Arbeitsvorschriften und den jeweiligen Europäischen oder nationalen Umweltschutz-Normen entsprechen.
- 2) Die Verträglichkeit aller Bestandteile des Injektionsgutes ist zu bewerten. Außerdem ist eine Beurteilung der möglichen Wechselwirkung zwischen Injektionsgut und Baugrund erforderlich.
- 3) Nach Festlegung der Bezugsquellen der für das Injektionsgut benötigten Baustoffe sind für alle Änderungen eine vorherige Absprache und eine Verträglichkeitsprüfung erforderlich.
- 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 Binder und Zemente

- 1) Zu den hydraulischen Bindern gehören alle Zemente und ähnliche Produkte, die in wäßriger Suspension zur Herstellung von Injektionsgut verwendet werden.
- 2) Mikrofeine (ultra-feine) hydraulische Binder oder Zemente sind durch eine Teilchengröße d_{95} von weniger als 20 µm gekennzeichnet.
- 3) Besonders für mikrofeine Produkte muß die Körnungslinie bekannt sein.
- 4) Die Art des hydraulischen Binders für das Injektionsgut sollte unter Berücksichtigung seiner Korngrößenverteilung bezogen auf die Öffnungsweite der Spalten und Hohlräume im zu behandelnden Baugrund ausgewählt werden.

6.2.2 Tone

- 1) Tone werden dem Injektionsgut auf Zementbasis im allgemeinen zugesetzt, um Ausbluten und Filtration unter Druck zu reduzieren und Viskosität und Kohäsion (Fließfähigkeit) des Injektionsgutes zu verändern oder seine Pumpbarkeit zu verbessern.
- 2) Natürliche Tone sowie aktivierte oder modifizierte Bentonite können für Injektionen verwendet werden.

- 3) Mineralogie, Korngröße, Wassergehalt und Atterberg-Flüssigkeitsgrenze des Tones sollten bekannt sein.

6.2.3 Sand und Füller

- 1) Sand und Füller werden in zementhaltigem Injektionsgut oder in Tonsuspensionen im allgemeinen als Füllstoffe oder zur Veränderung der Konsistenz des Injektionsgutes, der Auswaschbeständigkeit oder seiner mechanischen Festigkeit und Verformbarkeit verwendet.
- 2) Natürliche Sande oder Kiese, kalk- oder silikathaltige Füller, Puzzolane und Flugaschen aus Wärmekraftanlagen können dem Injektionsgut unter der Voraussetzung hinzugefügt werden, daß sie keine schädlichen Bestandteile enthalten.
- 3) Die Granulometrie der im Injektionsgut verwendeten Sande und Füller muß bekannt sein.

6.2.4 Wasser

- 1) Auf der Baustelle vorgefundenes Wasser sollte (besonders auf Chloride, Sulfate und organische Stoffe) untersucht werden, bevor seiner Verwendung zugestimmt wird.
- 2) Meerwasser kann verwendet werden, wenn die Eigenschaften der Injektionsmischung nicht beeinträchtigt werden.

6.2.5 Chemische Produkte und Zusätze

- 1) Chemische Produkte, wie Silikate und ihre Reagenzien, Materialien auf Ligninbasis, Acryl- oder Epoxidharze, Polyurethane oder andere können für Injektionsarbeiten verwendet werden, wenn sie den Umweltgesetzen entsprechen.
- 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.
- 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, Standfestigkeit, Festigkeit, Beständigkeit, Kohäsion und Durchlässigkeit nach Einbringung.
- 4) Zusätze zum Injektionsgut, wie Superplasticizer, Mittel zur Verbesserung der Wasserrückhaltekapazität, Luftporenbildner und andere werden in prEN 934-2 und prEN 480-1 bis 480-12 behandelt.

6.2.6 Andere Stoffe

- 1) Im Injektionsgut dürfen inerte oder reaktive Bestandteile unter der Voraussetzung angewendet werden, daß sie miteinander chemisch kompatibel sind und sowohl beim Einbringen als auch langfristig alle Umweltaanforderungen erfüllen.

6.3 Injektionsgut

6.3.1 Allgemeines

- 1) Injektionsgut wird eingeteilt in :

1. partikuläre oder kolloidale Suspensionen ;
2. echte oder kolloidale Lösungen ;
3. Mörtel.

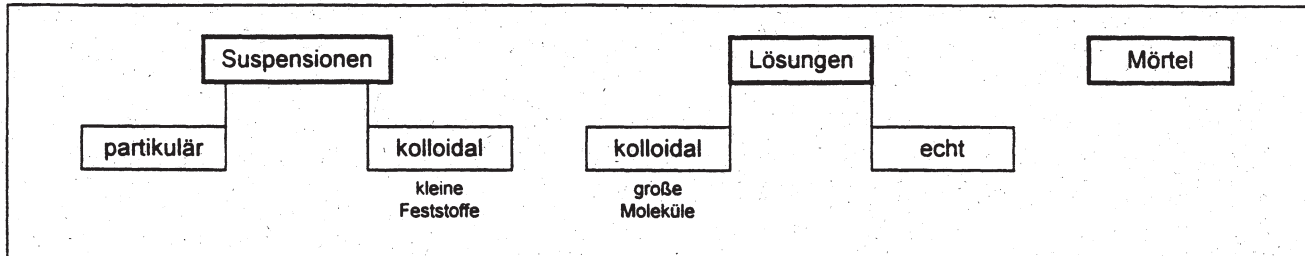


Bild 1 : Klassifikation des Injektionsgutes

- 2) Folgende Eigenschaften des Injektionsgutes sind bei seiner Auswahl zu berücksichtigen :
- Rheologie (Viskosität, Kohäsion usw.) ;
 - Abbindedauer ;
 - Toxizität ;
 - Festigkeit des Injektionsgutes und des behandelten Untergrundes ;
 - Standfestigkeit oder Beständigkeit des Injektionsgutes und des behandelten Untergrundes ;
 - Wasserundurchlässigkeit des behandelten Untergrundes.
- 3) Hauptparameter, die auf die Eigenschaften des Injektionsgutes vor und nach dem Abbinden Einfluß nehmen, werden nachfolgend angegeben :

Tabelle 1 : Einflußparameter auf die Eigenschaften des Injektionsgutes

	Lösung	Suspension	Mörtel
Vor dem Abbinden	Abbindedauer, Dichte, pH, Oberflächenspannung, Topfzeit, Filmzeit, Gelierzeit, Viskosität	Abbindedauer, Dichte, pH, Korngrößenverteilung, Härtingszeit, Viskosität, Kohäsion, Fließen, Thixotropie, Sedimentation, Wasserrückhaltekapazität	Abbindedauer, Dichte, pH, Korngrößenverteilung, Härtingszeit, Viskosität, Verarbeitbarkeit, Wasserrückhaltekapazität
Nach dem Abbinden	Härtung nach dem Abbinden, endgültige Festigkeit, pH, Verformbarkeit, Haltbarkeit, Schrumpfung, Ausdehnung, Scherfestigkeit, Synärese (Lösungen auf Silikatbasis)	Härtung nach dem Abbinden, endgültig Festigkeit, Verformbarkeit, Haltbarkeit, Schwindung, Ausdehnung, Dichte, Scherfestigkeit	Endgültige Festigkeit, Verformbarkeit, Haltbarkeit, Schwindung, Ausdehnung

- 4) Die Temperatur ist bei der Bewertung der folgenden Parameter des Injektionsgutes, die stark temperaturabhängig sind, zu überwachen : Abbindedauer, Oberflächenspannung, Viskosität, Kohäsion, Ausbluten (Sedimentation), Verarbeitbarkeit, Härtung nach dem Abbinden, Schrumpfung oder Ausdehnung und Synärese (für Lösungen auf Silikatbasis).

6.3.2 Suspensionen

- 1) Eine Suspension ist ein Injektionsgut, das aus Wasser, aus Produkten, die in der Flüssigkeit suspendiert, aber nicht gelöst sind und aus Zusätzen besteht. Die Benennung umfaßt auch kolloidale Tonsuspensionen. Die Eigenschaften suspendierter Festkörper, sich im Wasser bedingt durch Schwerkraft abzusetzen sowie unter Druck auszubluten, sind im Zusammenhang mit der Beschaffenheit und Eigenschaften des Baugrundes zu beurteilen.
- 2) Suspensionen werden gekennzeichnet durch folgende Merkmale :
 - Verhältnis Wasser/Feststoffe ;
 - Sedimentationsrate (Beständigkeit) ;
 - Wasserrückhaltekapazität bei Druckfiltration ;
 - Korngrößenverteilung der Feststoffteilchen ;
 - rheologischen Eigenschaften und Verhalten in Abhängigkeit von der Zeit.
- 3) Das Klassifikationskriterium für mikrofeine Suspensionen ist, daß ein festgelegter Grenzwert für die Teilchengröße von höchstens 20 µm nicht überschritten wird. Ihre Körnungslinie sollte mit einem Lasergranulometer oder einem Gerät mit gleicher Präzision bestimmt werden.
- 4) Die Koagulationsneigung suspendierter Festkörper (besonders in mikrofeinen Suspensionen) ist zu beachten.
- 5) Kolloidale Tonsuspensionen sollten so hergestellt werden, daß die Tonteilchen vor dem Injizieren gut dispergiert und hydratisiert sind.

6.3.3 Lösungen

- 1) Kennzeichnend für als Injektionsgut verwendete Lösungen ist, daß keine Feststoffteilchen vorhanden sind und für einige Lösungen, daß sie nach dem Abbinden gelieren. Kolloidale Lösungen sind in Wasser gelöste Kolloide (Natriumsilikat) mit einem organischen oder mineralischen Reagens. Rein anorganische Lösungen sind wäßrige Lösungen aus reinem Siliziumdioxid und einem anorganischen Reagens.
- 2) Silikat-Injektionsgut ist nur kurzzeitig beständig und sollte als Dauerlösung für Injektionen nicht angewendet werden. Organische Silikatgele können außerdem zum Wachstum von Bakterien im Baugrund führen.
- 3) Die Wirkung der Synärese auf die Eigenschaften des behandelten Baugrundes und auf die Umwelt, besonders ihre Langzeitwirkung, ist vor der Behandlung einzuschätzen.
- 4) Die Wirkung schwankender Temperaturen auf das Verhalten des Injektionsgutes während der Herstellung und Einbringung ist zu berücksichtigen.

- 5) Reagenzien (gelöste oder emulgierte Härter) sind nach den Anweisungen des Herstellers anzuwenden.
- 6) Bei Harzen ist ihre Toxizität besonders zu beachten ; sie werden im allgemeinen unter folgenden Umständen angewendet :

Tabelle 2 : Anwendung von Harzen in Injektionsgut

Harzart	Art des Baugrundes	Einsatz/Anwendung
Acrylharz*	körniges Lockergestein fein zerklüfteter Fels	Verringerung der Durchlässigkeit Verbesserung der Festigkeit : bis 1,5 MPa (für Acrylamid-silikate) von körnigem Lockergestein, das Erschütterungen ausgesetzt wird von mit Salzwasser gesättigtem Baugrund
Poly- urethan	große Hohlräume	Verschäumung, um das Eindringen von Wasser zu blockieren (wasserreaktive Harze) Verfestigung oder örtliche Hohlraumfüllung (Zwei- komponenten-Harze)
Phenolhar- z	feiner Sand und sandiger Kies	Abdichtung und Verfestigung
Epoxidhar- z	zerklüftete Bauwerk/Beton fein zerklüfteter Fels	(in dieser Norm nicht erfaßt) Verbesserung der Festigkeit von körnigem und rissigem Baugrund bis zu 15 MPa (Anwendung nur in Ausnahmefällen)

* Toxizität überprüfen

6.3.4 Mörtel

- 1) Die festen Teilchen des Mörtels dürfen entweder in physikalischem Kontakt miteinander sein, so daß sich eine hohe innere Reibung ergibt, oder sie dürfen suspendiert sein, wobei das Trägermittel Wasser, hydraulischer Binder und möglicherweise Ton ist (dieser Mörtel fließt unter seinem eigenen Gewicht).
- 2) 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 6.3).
- 3) Mörtel, der unter seiner eigenen Masse fließt, wird im allgemeinen zum Verfüllen von Hohlräumen, großen Rissen, klaffenden Spalten und Hohlräumen in körnigem Lockergestein verwendet. Er muß beständig sein, und sein rheologisches Verhalten (ähnlich wie bei Suspensionen) wird im allgemeinen durch Versuche mit geeignet ausgewählten Fließtrichtern beschrieben.
- 4) Wenn zur Verdichtungsinjektion verwendet, sollte der Mörtel mindestens 15 % Feinanteile unter 0,1 mm haben.

6.4 Probenahme und Prüfung

- 1) Von den Bestandteilen einer Injektionsmischung sowie von der Mischung selbst müssen regelmäßig Proben entnommen und geprüft werden, um ihre Übereinstimmung mit den Planungsanforderungen nachzuweisen.