

DIN EN 12716

ICS 93.020

Entwurf

Einsprüche bis 2017-05-17
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 12716:2001-12

**Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau –
Düsenstrahlverfahren;
Deutsche und Englische Fassung prEN 12716:2017**

Execution of special geotechnical work –
Jet grouting;
German and English version prEN 12716:2017
Exécution des travaux géotechniques spéciaux –
Jet grouting;
Version allemande et anglaise prEN 12716:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-03-17 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, Burggrafenstr. 6, 10787 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 77 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12716:2017) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 288 „Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

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

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung der prEN 12716 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 12716:2001-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) inhaltliche und redaktionelle Überarbeitung der Norm;
- b) Aufnahme des informativen Anhangs A „Bestimmung der Materialfestigkeit für die Bemessung“;
- c) Aufnahme des informativen Anhangs B „Qualität der Proben“.

Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau — Düsenstrahlverfahren

Exécution des travaux géotechniques spéciaux — Jet grouting

Execution of special geotechnical work — Jet grouting

ICS:

DeskriptorEN

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Für die Ausführung der Arbeiten benötigte Angaben	8
4.1 Allgemeines	8
4.2 Spezifische Anforderungen	9
5 Baugrunduntersuchung	10
5.1 Allgemeines	10
5.2 Spezifische Anforderungen	10
6 Baustoffe und Bauprodukte	11
6.1 Allgemeines	11
6.2 Zement	12
6.3 Wasser	12
6.4 Bentonit	12
6.5 Zusatzstoffe	12
6.6 Zusatzmittel	13
6.7 Bewehrung	13
7 Zu berücksichtigende Aspekte in Bezug auf Entwurf und Bemessung	13
7.1 Allgemeines	13
7.2 Geometrische Randbedingungen	14
7.3 Festigkeit und Verformungseigenschaften	15
7.4 Durchlässigkeit	15
8 Ausführung	16
8.1 Allgemeines	16
8.2 Ausrüstung	17
8.3 Vorbereitung der Baustelle	17
8.4 Bohrung und Toleranzen	18
8.5 Düsenstrahlarbeit	18
8.6 Rückfluss	19
8.7 Einbringen der Bewehrung	19
9 Bauüberwachung, Prüfungen und Kontrollen	19
9.1 Allgemeines	19
9.2 Vorversuche	20
9.3 Überwachung und Verfahrensprüfungen	20
9.4 Prüfung der Düsenstrahlelemente	21
9.4.1 Prüfung zur Beurteilung der Abmessungen	21
9.4.2 Mechanische Prüfungen	21
9.4.3 Durchlässigkeitsprüfungen	22
9.5 Überwachung	22
10 Aufzeichnungen	22
10.1 Auf der Baustelle verfügbare Unterlagen	22
10.2 Auf der Baustelle zu erstellende Unterlagen	23

11	Besondere Anforderungen.....	23
11.1	Übereinstimmung mit den nationalen und Europäischen Normen.....	23
11.2	Baustellensicherheit	24
11.3	Umweltschutz	24
Anhang A (informativ) Bestimmung der Materialfestigkeit für die Bemessung		25
Anhang B (informativ) Qualität der Proben		27
Anhang C (normativ) Direkte und indirekte Prüfungen und Qualitätskontrollen		30
Anhang D (informativ) Beispiele für Baustellenberichte beim Düsenstrahlverfahren		32
Anhang E (informativ) Verbindlichkeitsgrad der Festlegungen.....		35
Literaturhinweise.....		38

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 12716:2017) 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 12716:2001 ersetzen.

Der allgemeine Anwendungsbereich von TC 288 umfasst die Normung der Ausführungsverfahren des Spezialtiefbaus (einschließlich Prüf- und Überwachungsmethoden) und der erforderlichen Materialeigenschaften. WG 17 wurde damit beauftragt, EN 12716:2001, welche Düsenstrahlverfahren behandelt, zu überarbeiten.

Für Entwurf, Planung und Ausführung des Düsenstrahlverfahrens sind Erfahrung und Kenntnisse in diesem Fachgebiet erforderlich. Für die Ausführungsphase ist kompetentes und qualifiziertes Personal erforderlich und die vorliegende Norm kann das Fachwissen von Fachunternehmen nicht ersetzen.

Dieses Dokument ist eine Ergänzung zu 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*. Abschnitt 7 „Zu berücksichtigende Aspekte in Bezug auf die Bemessung“ dieser Europäischen Norm behandelt nur dort wo notwendig die Bemessung (z. B. detaillierte Angaben zur Bewehrung), deckt jedoch vollständig die Anforderungen an das Bauwerk und die Überwachung ab.

Diese Norm enthält zusätzliche Anforderungen an Zement und ergänzt die entsprechenden Bestimmungen von EN 197-1 und EN 1008.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm legt allgemeine Grundsätze für die Ausführung von Düsenstrahlarbeiten fest.

ANMERKUNG Das Düsenstrahlverfahren unterscheidet sich von den in EN 12715 erfassten Injektionsverfahren.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 197-1, *Zement — Teil 1: Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien von Normalzement*

EN 206, *Beton — Eigenschaften, Leistung, Herstellung und Konformität*

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

EN 1008, *Zugabewasser für Beton — Festlegung für die Probenahme, Prüfung und Beurteilung der Eignung von Wasser, einschließlich bei der Betonherstellung anfallendes Wasser, als Zugabewasser für Beton*

EN 12390-2, *Prüfung von Festbeton — Teil 2: Herstellung und Lagerung von Probekörpern für Festigkeitsprüfungen*

EN 12390-3, *Prüfung von Festbeton — Teil 3: Druckfestigkeit von Probekörpern*

EN 12504-1, *Prüfung von Beton in Bauwerken — Teil 1: Bohrkernproben — Herstellung, Untersuchung und Prüfung der Druckfestigkeit*

EN 16228-1:2014, *Geräte für Bohr- und Gründungsarbeiten — Sicherheit — Teil 1: Gemeinsame Anforderungen*

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

EN 1993-1-5, *Eurocode 3: Bemessung und Konstruktion von Stahlbauten — Teil 1-5: Plattenförmige Bauteile*

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

EN 1997-1:2004¹⁾ *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

ASTM D6910, *Standard Test Method for Marsh Funnel Viscosity of Clay Construction Slurries*

ASTM C1741, *Standard Test Method for Bleed Stability of Cementitious Post-Tensioning Tendon Grout*

1) Durch EN 1997-1:2004/A1:2013 geändert und EN 1997-1:2004/AC:2009 berichtigt.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

Düsenstrahlverfahren

Vorgang, bei dem Boden oder mäßig festes Gestein in seine Bestandteile zerlegt und mit einer Bindemittelsuspension versetzt bzw. teilweise durch diese ersetzt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Auflösen des Bodengefüges wird durch einen energiereichen Flüssigkeitsstrahl bewirkt, wobei die Flüssigkeit die Bindemittelsuspension sein kann. Der Mindestbetriebsdruck zur Erzeugung der Strahlenergie muss mehr als 25 MPa betragen.

3.2

Düsenstrahlelement

aus einem einzelnen Bohrloch durch den Flüssigkeitsstrahl erfasstes Bodenvolumen

3.3

Düsenstrahlkörper

Anordnung von Düsenstrahlelementen, die teilweise oder vollständig miteinander verbunden sind

3.4

sub-vertikales Düsenstrahlverfahren

Verfahrensart, die in einem vertikalen oder sub-vertikalen Bohrloch ausgeführt wird ($\pm 20^\circ$ Abweichungen von der vertikalen Ebene)

3.5

sub-horizontales Düsenstrahlverfahren

Verfahrensart, die in einem horizontalen oder sub-horizontalen Bohrloch ausgeführt wird ($\pm 20^\circ$ Abweichungen von der horizontalen Ebene)

3.6

geneigtes Düsenstrahlverfahren

Verfahrensart, die in einer von einer sub-vertikalen oder sub-horizontalen Neigung abweichenden Neigung ausgeführt wird

3.7

1-Phasensystem

Düsenstrahlverfahren mit einer einzigen Flüssigkeit, welche die Bindemittelsuspension selbst ist

3.8

2-Phasensystem

1-Phasensystem mit einem zusätzlichen den Strahl ummantelnden Luftstrahl

3.9

Verfestigungsabschnitt

mit dem Düsenstrahlverfahren bearbeitender Bereich, für den einheitliche Bodenverhältnisse vorliegen und einheitliche Düsenstrahlparameter gelten

3.10

3-Phasensystem

2-Phasensystem, welches einen Wasserstrahl verwendet, wobei optional ein Luftstrahl um den Strahl hinzugefügt werden kann und gleichzeitig Bindemittelsuspension durch eine separate Öffnung unterhalb des Strahls zugegeben wird

Anmerkung 1 zum Begriff: In einigen Fällen kann die Zugabe von Luft vollständig oder teilweise weggelassen werden.

3.11

Bohr- und Düsgerät

Drehbohranlage mit automatischer Regelung für Drehzahl und Ziehgeschwindigkeit des Gestänges und des Düsenträgers

3.12

Bohr- und Düsgestänge

Gestänge, das in Abhängigkeit vom jeweils ausgewählten System einen, zwei oder drei innere Spülkanäle enthält

3.13

Düsenträger

in der Nähe des unteren Endes des Düsgestänges angebrachtes Werkzeug, welches die Düse(n) hält

3.14

Schneiddüse

am Düsenträger angebrachte Vorrichtung zur Erzeugung des Hochgeschwindigkeitsstrahls

3.15

Reichweite des Düsenstrahls

Strecke, von der Achse des Düsenträgers aus gemessen, auf der eine hydraulische Auflösung des Bodengefüges durch den Strahl erreicht wird

3.16

Rückfluss

Austritt der beim Düsenvorgang entstandenen Mischung aus hydraulisch aufgelöstem Boden, mäßig festem Gestein und eingebrachten Flüssigkeiten, der in der Regel über den Ringraum im Bohrloch an der Geländeoberfläche des Baugrunds erfolgt

3.17

Düsenstrahlparameter

Als Parameter gelten:

- Anzahl und Durchmesser der Düse(n);
- Druck der Flüssigkeit(en);
- Durchflussrate der Flüssigkeit(en);
- Druck und Durchflussrate der Luft (sofern verwendet);
- Zusammensetzung der zementhaltigen Mischung oder der Flüssigkeit;
- Drehgeschwindigkeit des Düsgestänges;
- Zieh- oder Eindringgeschwindigkeit des Düsgestänges.

3.18

Vorschneiden (Mehrphasen-Düsenstrahlverfahren)

Verfahren, bei dem der Herstellung eines Düsenstrahlelements eine Phase hydraulischer Auflösung vorangestellt ist

3.19

erhärtetes Düsenstrahlmaterial

Stoffe, aus denen das Düsenstrahlelement besteht

3.20

bewehrter Düsenstrahlkörper

Düsenstrahlsäulen, die durch Baustahl oder einen anderen hochfesten Werkstoff verstärkt werden

3.21

Bindemittelsuspension

pumpfähiger Stoff (Suspension, Lösung, Emulsion), bestehend aus Wasser, Bindemittel und Zusätzen, der als energiereicher Flüssigkeitsstrahl oder zur Verfestigung verwendet wird und der allmählich eine Festigkeit entwickelt, z. B. gemessen als einaxiale Druckfestigkeit

3.22

hydraulisches Bindemittel

Zement oder ähnliches Bauprodukt, das zur Herstellung von Bindemittelsuspensionen verwendet wird

3.23

Düsenstrahlpfahl

Element, bei dem der durch den Strahl erzeugte Hohlraum über ein separates Kontraktorrohr mit Beton aufgefüllt wird, wodurch die im Hohlraum enthaltenen Stoffe ersetzt werden

3.24

Güteklasse der Probe

Klassifizierung der aus dem Düsenstrahlelement gewonnenen Proben nach Oberfläche, Struktur, Anzahl der Unregelmäßigkeiten und Zusammensetzung

3.25

Homogenbereich

Bereich des Baugrunds aus einer oder mehreren Schichten, der sich deutlich durch eine Reihe von für das Düsenstrahlverfahren relevanten Eigenschaften von den angrenzenden Bereichen unterscheidet

4 Für die Ausführung der Arbeiten benötigte Angaben

4.1 Allgemeines

4.1.1 Vor Ausführung der Arbeiten müssen alle notwendigen Angaben zur Verfügung gestellt werden.

4.1.2 Diese Angaben müssen Folgendes enthalten:

- gesetzliche Auflagen;
- Lage angemessener Hauptrasterlinien zur Absteckung der Elementpositionen;
- Lage und Zustand von an der Baustelle angrenzenden Bauwerken, Straßen, Einbauten usw., einschließlich notwendiger Übersichten;
- ein geeignetes Qualitätsmanagementsystem, einschließlich Aufsicht, Überwachung und Prüfung.

4.1.3 Angaben hinsichtlich des Zustands der Baustelle müssen, sofern relevant, Folgendes umfassen:

- Geometrie der Baustelle (Zustand der Begrenzung, Topographie, Zugang, Neigungswinkel, lichte Höhe, Einschränkungen usw.);
- verfügbarer Platz zur Lagerung, Behandlung und/oder Entsorgung des Rückflusses;
- vorhandene Untergrundstruktur, Einbauten, bekannte Kontaminierungen und archäologische Einschränkungen; potentiell Vorhandensein von Blindgängern und deren Lage;

- Umweltschutzauflagen, einschließlich in Bezug auf Lärm, Erschütterung, Verschmutzung;
- künftig oder derzeit stattfindende Arbeiten wie Entwässerung, Tunnelbau oder Aushebungen tiefer Baugruben.

4.2 Spezifische Anforderungen

4.2.1 Die spezifischen Anforderungen müssen, sofern relevant, Folgendes umfassen:

- Ausführungsunterlagen;
- vorangegangene Nutzung der Standorts;
- angrenzende Fundamente (Art, Last und Geometrie);
- geotechnische Angaben und Daten, wie in Abschnitt 5 angegeben;
- Vorhandensein von Hindernissen im Boden (altes Mauerwerk, Anker, Beton, Blöcke und Findlinge usw.);
- Bescheinigung oder schriftliche Bestätigung über die Beseitigung aller Blindgänger;
- Vorhandensein von Einschränkungen bezüglich der lichten Höhe;
- Vorhandensein von archäologischen Überresten;
- Vorhandensein von natürlichen und/oder künstlich angelegten Hohlräumen (Minen usw.);
- Vorhandensein von verunreinigtem Baugrund sowie Art, Ausdehnung und Grad der Verunreinigung;
- spezifische Anforderungen an die Düsenstrahlarbeiten, insbesondere im Hinblick auf Toleranzen, Qualität der Stoffe sowie Prüfverfahren und -frequenz;
- falls verfügbar, Erfahrungswerte bisheriger Düsenstrahlarbeiten oder anderer Injektionsarbeiten auf oder neben der Baustelle;
- beabsichtigte angrenzende Vorbereitungs- oder Verbesserungsmaßnahmen wie Unterfangungen, Vorbehandlung des Erdreichs, Entwässerung;
- Umfang und Art der erforderlichen Ausstattung und Überwachung potentiell betroffener Bauwerke;
- Grad der erforderlichen Wasserdichtigkeit;
- erforderliche Eigenschaften des Materials zwischen den Düsenstrahlelementen bei Düsenstrahlwänden.

4.2.2 Die Notwendigkeit, der Umfang, das Verfahren und der Inhalt für jegliche Untersuchungen des Zustands von angrenzenden Bauwerken, Straßen, Einbauten, Leitungen usw. müssen festgelegt werden.

4.2.3 Die Untersuchungen müssen vor Beginn der Arbeiten erstellt werden und verfügbar sein und die diesbezüglichen Ergebnisse müssen verwendet werden, um die Schwellwerte von Bewegungen festzulegen, welche Auswirkungen auf die angrenzenden Bauwerke haben könnten.

4.2.4 Zusätzliche oder abweichende Anforderungen, die in den Anwendungsbereich dieser Norm fallen, müssen vor Beginn der Arbeiten festgelegt und vereinbart werden und das System zur Qualitätskontrolle muss auf geeignete Weise angepasst werden.

ANMERKUNG Derartige zusätzliche oder abweichende Anforderungen können sein:

- verminderte oder erhöhte geometrische Bauwerksabweichungen;
- Anwendung verschiedener oder variierender Suspensionen;
- spezielle Verankerung oder Verbindung von Düsenstrahlelementen mit darunterliegendem Fels;
- Verstärkung(material);
- Kapphöhen;
- umfassender manueller Aushub.

5 Baugrunduntersuchung

5.1 Allgemeines

5.1.1 Die Baugrunduntersuchung muss die Anforderungen von EN 1997 (alle Teile) erfüllen.

5.1.2 Die Tiefe und der Umfang der Baugrunduntersuchung sollten ausreichend sein, um alle Bodenformationen und Schichten zu identifizieren, die von den Düsenstrahlarbeiten betroffen sind, um alle relevanten Eigenschaften des Bodens und um den Zustand des Bodens zu bestimmen.

5.1.3 Relevante Erfahrungen über die Ausführung vergleichbarer Gründungsarbeiten unter ähnlichen Bedingungen und/oder in der Nähe der Baustelle sollten bei der Bestimmung des Umfangs der Felduntersuchung berücksichtigt werden (der Bezug auf relevante Erfahrungen ist zulässig, wenn geeignete Maßnahmen zum Nachweis getroffen werden, z. B. durch Penetration, Pressiometer oder in Form anderer Prüfungen).

ANMERKUNG Hinweise zu der Tiefe, dem Umfang und der Anzahl der Bohrungen oder Prüfschächte sowie zum Inhalt der Felduntersuchung sind in EN 1997-2 enthalten.

5.1.4 Der geotechnische Untersuchungsbericht muss vorliegen, um eine zuverlässige Planung und eine zuverlässige Ausführung des Düsenstrahlverfahrens zu ermöglichen.

5.1.5 Die Angemessenheit der Baugrunduntersuchung für die Planung und die Ausführung des Düsenstrahlverfahrens muss nachgewiesen werden.

5.1.6 Ist die Baugrunduntersuchung nicht angemessen, muss eine ergänzende Untersuchung vorgenommen werden.

5.2 Spezifische Anforderungen

5.2.1 Besondere Aufmerksamkeit ist auf die folgenden Aspekte zu richten, die für die Ausführung des Düsenstrahlverfahrens relevant sind:

- das Bodenniveau zu jedem Zeitpunkt der Untersuchung oder Prüfung, bezogen auf die anerkannten nationalen Bezugspunkte oder auf ein festes Kartennull;
- Standrohrspiegelhöhen aller Grundwasserspiegel und Durchlässigkeit der Böden;
- Vorhandensein von groben, hochdurchlässigen Böden oder Hohlräumen (natürlich oder künstlich), die während des Düsens einen plötzlichen Materialverlust und eine Instabilität des Bohrlochs oder einen plötzlichen Abfall des Flüssigkeitsniveaus verursachen und daher besondere Maßnahmen erforderlich machen können;

- Vorhandensein, Festigkeit und Verformungseigenschaften kohäsiver Böden wie Ton oder Torf, die Schwierigkeiten während des Düsens bereiten können;
- Vorhandensein von Findlingen oder Hindernissen, die während des Düsens Schatten erzeugen können; eine Beurteilung ihrer Größe und Häufigkeit, sofern zutreffend;
- Vorhandensein, Lage, Festigkeit harten Gesteins bzw. anderer harter Materialien, was zu Schwierigkeiten während des Bohrens führen und die Verwendung speziellen Werkzeugs erforderlich machen kann;
- Vorhandensein, Ausdehnung und Dicke von Schichten, die empfindlich auf Eindringen von Wasser oder den zusätzlichen durch das Düsenstrahlverfahren verursachten hydrostatischen Druck reagieren können;
- Untergrundschichten, wo hohe Grundwassergeschwindigkeiten vorliegen;
- schädliche chemische Eigenschaften von Grundwasser, Boden und Fels sowie die Wassertemperatur, sofern erforderlich;
- schädliche chemische Eigenschaften von Reststoffen;
- Vorhandensein von vorbehandeltem Boden, der sich während des Düsenstrahlverfahrens nachteilig auswirken kann;
- Bergbau unter der Baustelle;
- Probleme der Baustellenstabilität (beispielsweise Böschungsstabilität).

5.2.2 Die Standrohrspiegelhöhen der verschiedenen Grundwasserspiegel auf der Baustelle müssen separat und über einen ausreichenden Zeitraum überwacht werden, um die höchsten Standrohrspiegelhöhen abzuschätzen, die während des Düsenstrahlverfahrens eintreten können.

5.2.3 Ein besonderes Augenmerk muss auf artesische Bedingungen gerichtet werden.

5.2.4 Die relative Dichte, der Anteil der Überkonsolidierung und die Korngrößenverteilung der Böden und des Gesteins müssen mittels Laborprüfungen und/oder Prüfungen vor Ort über die volle Tiefe der Düsenstrahlelemente und bis auf eine bestimmte Tiefe unter ihrer Basis bestimmt werden.

5.2.5 Ist vorgesehen, dass Düsenstrahlelemente auf Gestein treffen, müssen das Niveau der Gesteinsoberfläche sowie die Gesteinseigenschaften, einschließlich des Verwitterungsgrades und der Spaltausdehnung und -richtung, bestimmt werden.

6 Baustoffe und Bauprodukte

6.1 Allgemeines

6.1.1 Die Bestandteile müssen die Anforderungen erfüllen, die in den jeweiligen Europäischen Normen, den für den Anwendungsort geltenden und den in den Projektspezifikationen angegebenen Bestimmungen, gestellt werden.

6.1.2 Die Bezugsquellen der Bestandteile müssen dokumentiert werden und dürfen nicht ohne vorherige Ankündigung verändert werden.

6.2 Zement

6.2.1 Der Zement für das Düsenstrahlverfahren muss EN 197-1 entsprechen.

6.2.2 Die Auswahl in Bezug auf Expositionsklassen muss EN 206 entsprechen.

6.2.3 Andere hydraulische Bindemittel dürfen verwendet werden, wenn die erforderliche Qualität durch Prüfungen oder entsprechende Bestimmungen, Bescheinigungen oder Genehmigungen nachgewiesen ist.

6.2.4 Die Verwendung von Zement mit hohem Sulfatwiderstand (z. B. frei von C3A-Tricalciumaluminat) muss den am Ort der Verwendung geltenden Regeln entsprechen.

ANMERKUNG 1 Diese Zementarten werden beispielsweise in kühlen, feuchten Umgebungen mit Sulfatvorkommen verwendet (z. B. Meerwasser-Konstruktionen).

ANMERKUNG 2 Falls keine Europäische Norm existiert und keine örtlichen Bestimmungen gelten, sind vergleichbare Erfahrungen und/oder spezifische Studien notwendig.

6.2.5 Calciumaluminat-Zement darf nicht verwendet werden.

ANMERKUNG 1 Die Verwendung von Zement des Typs CEM III oder der Austausch von Zement des Typs CEM I durch gemahlene granuliert Hochofenschlacke kann zu einer verminderten Durchlässigkeit führen.

6.2.6 Zusatzstoffe vom Typ II, einschließlich Flugasche, Silikastaub (wie in EN 206 angegeben) und gemahlene granuliert Hochofenschlacke dürfen als Ersatz für Zement verwendet werden.

6.3 Wasser

Zugabewasser muss EN 1008 und EN 206 entsprechen.

6.4 Bentonit

6.4.1 Eine Unterscheidung sollte zwischen Kalzium-Bentonit, natürlichem Natriumbentonit und aktiviertem Bentonit vorgenommen werden. Letzterer ist ein Natriumbentonit, welcher mittels Ionenaustausch aus natürlichem Kalzium-Bentonit hergestellt wurde.

ANMERKUNG 1 Bei Bentonit handelt es sich um Ton, der hauptsächlich das Mineral Montmorillonit enthält.

6.4.2 In Bentonitsuspensionen verwendeter Bentonit darf keine schädlichen Bestandteile in der Menge aufweisen, dass die Bewehrung oder Festigkeit der Düsenstrahlelemente beeinträchtigt werden kann.

6.4.3 Die chemische und mineralogische Zusammensetzung des Bentonits muss bekannt sein.

6.5 Zusatzstoffe

Die Verwendung von Zusatzstoffen muss EN 206 entsprechen.

6.6 Zusatzmittel

Zusatzmittel müssen EN 206 entsprechen.

ANMERKUNG 1 Die für das Düsenstrahlverfahren angewandten Zusatzmittel können die folgenden Eigenschaften aufweisen:

- Wasser entziehend/verflüssigend;
- stark Wasser entziehend/superverflüssigend;
- auswaschfest;
- abbindeverzögernd;
- abbindebeschleunigend.

ANMERKUNG 2 Zusatzmittel können verwendet werden:

- um das Bluten und die Entmischung zu minimieren, die sich aus einem hohen Wassergehalt ergeben könnten;
- um die Zeit der Verarbeitbarkeit der Suspension zu steuern.

6.7 Bewehrung

Wird Stahl als Bewehrung verwendet, muss das Material mit den Anforderungen nach EN 1993-1-5 übereinstimmen.

7 Zu berücksichtigende Aspekte in Bezug auf Entwurf und Bemessung

7.1 Allgemeines

7.1.1 Das Düsenstrahlverfahren kann entweder für zeitlich begrenzte oder ständige Bauwerke zu unterschiedlichen Zwecken eingesetzt werden:

- bei beschädigten tragenden Bauteilen;
- zur Schaffung durchlässigkeitsmindernder Elemente; oder
- als Kombination aus beidem.

7.1.2 Bei der Planung von Düsenstrahlarbeiten sollte angegeben werden, ob die Ansatzpunkte der Bohrlöcher über oder unter dem Grundwasserspiegel oder dem Druckniveau von gespannten Wässern liegen.

7.1.3 Überall dort, wo die Ansatzpunkte der Bohrlöcher unter dem Grundwasserspiegel oder unter dem Druckniveau von gespannten Wässern liegen, müssen besondere Maßnahmen vorgesehen werden, um unkontrollierten Austrag von Düsenstrahlmaterial und Wasser zu verhindern.

7.1.4 Die spezifizierten physischen Eigenschaften und die Abmessungen der Düsenstrahlkörper müssen in der Planung nach EN 1997 angegeben werden.

7.1.5 Die Bedingungen, welche die Reihenfolge der Herstellung der Elemente beeinflussen können, müssen festgelegt werden.

7.1.6 Wenn von Bedeutung, sollte die genaue Reihenfolge der Herstellung der Elemente auf den Ausführungsplänen festgelegt werden.

7.1.7 Sofern keine Erfahrungen unter vergleichbaren Bedingungen vorliegen, müssen repräsentative Vorversuche unter Verwendung derjenigen Ausrüstung, Materialien und Verfahren vorgenommen werden, die für die später auszuführenden Düsenstrahlarbeiten vorgesehen sind.

7.1.8 Um ein den Anforderungen entsprechendes Ergebnis der Vorversuche zu erreichen, sollte mindestens ein Probeelement mit dem vorgegebenen Arbeitsverfahren hergestellt werden. Bei sehr heterogenen Böden sind für den Nachweis der Brauchbarkeit mehrere Probeelemente unter Anwendung verschiedener Arbeitsverfahren notwendig.

7.1.9 Wenn das erhärtete Düsenstrahlmaterial aggressiven oder temperaturempfindlichen Umgebungen ausgesetzt werden soll, sollten vor den Feldversuchen Laborversuche an Proben durchgeführt werden, angemischt in vergleichbaren Anteilen aus dem zu behandelnden Boden und der Düsenstrahlsuspension, wie sie bei den geplanten Düsenstrahlarbeiten vorkommen werden.

7.1.10 Die Bestimmung der charakteristischen Materialfestigkeit muss im Rahmen der Aufsicht, Prüfung und Überwachung durch Prüfung von Proben erfolgen, die aus dem Düsenstrahlkörper selbst entweder durch Kernbohrung, Frischprobenahme oder aus dem Rückfluss entnommen wurden. Für diesen Zweck stellen die Bezugsabmessungen der Proben einen Zylinder mit einem Höhe-Durchmesser-Verhältnis von 2:1 dar. Der Durchmesser der Probe sollte mindestens das 3- bis 6-Fache des Durchmessers der größten enthaltenen Korngröße darstellen.

ANMERKUNG Rückflussproben dürfen nur verwendet werden, wenn basierend auf vorherigen Erfahrungen davon ausgegangen werden kann, dass sie für die Materialfestigkeit repräsentativ sind.

7.1.11 Tragende Bauteile dürfen erst nach der Prüfung belastet werden, oder wenn vergleichbare Erfahrungen bestätigen, dass die Aushärtezeit ausreichend ist, um die in der Planung angegebene erforderliche Festigkeit zu erreichen.

7.1.12 Die charakteristische Festigkeit, die im Rahmen von Aufsicht, Prüfung und Überwachung als die uniaxiale Druckfestigkeit für Düsenstrahlelemente bestimmt wurde, muss statistisch und in Übereinstimmung mit den Spezifikationen, z. B wie in Anhang A beschrieben, nachgewiesen werden.

7.1.13 Anhang C enthält die Mindestanzahl der Proben, die für die Bestimmung der Druckfestigkeit erforderlich ist.

7.1.14 Proben sollten dort entnommen werden, wo erwartungsgemäß eine repräsentative Materialfestigkeit erwartet werden kann. Prüfergebnisse müssen hinsichtlich der Probenqualität, wie in Anhang B beschrieben, interpretiert werden.

7.1.15 Die Planung sollte die zulässigen Grenzen für Setzungen, Hebungen und Verdrehungen von Gebäuden und Einbauten, die im Einflussbereich der Düsenstrahlarbeiten liegen, festlegen.

7.2 Geometrische Randbedingungen

7.2.1 Toleranzen und ihre potentiellen Auswirkungen müssen in der Ausführungsplanung berücksichtigt werden.

ANMERKUNG 1 Die folgenden geometrischen Toleranzen können angenommen werden, falls keine vergleichbaren Erfahrungswerte vorliegen:

- a) Position vertikaler und schräger Düsenstrahlelemente, bezogen auf die Höhe der Arbeitsebene $\leq 0,05$ m;
- b) Abweichung von der Elementachse

- 1) für vertikale Düsenstrahlelemente $\leq 2\%$ der maximalen Bohrlänge;
- 2) für Düsenstrahlelemente, die eine Neigung von weniger als 30° von der Senkrechten aufweisen $\leq 4\%$ der maximalen Bohrlänge;
- 3) für Düsenstrahlelemente, die eine Neigung von mehr als 30° von der Senkrechten aufweisen $\leq 6\%$ der maximalen Bohrlänge.

7.2.2 Auf Ausführungsplänen muss Folgendes eindeutig dargestellt werden:

- Mindestquerschnittsabmessungen, die in den verschiedenen zu durchfahrenden Bodenschichten zu erreichen sind;
- Abweichungen der Elementachsen hinsichtlich Lage und Neigung, wenn von 7.2.1 abweichend.

7.2.3 Auch die größtmöglichen Querschnittsabmessungen der Düsenstrahlelemente sollten in Bezug auf die geplanten Elementabstände berücksichtigt werden, um die Geschlossenheit der Düsenstrahlkörper zu gewährleisten.

7.2.4 Falls ein unerwartetes unterirdisches Hindernis nicht entfernt werden kann, muss dieser Bereich in den Ausführungsplänen gekennzeichnet werden. Die angrenzenden Düsenstrahlkörper müssen so umgeplant werden, dass unzulässige Fehlstellen vermieden werden.

7.3 Festigkeit und Verformungseigenschaften

7.3.1 Die Festigkeit des erhärteten Düsenstrahlmaterials hängt vom gewählten System und den Düsenstrahlparametern sowie von der Art und Heterogenität des Bodens ab.

7.3.2 Bei Unterfangungen muss der temporäre Zustand der Düsenstrahlsäulen unter den Fundamenten in Bezug auf Stabilität und Verformung vor dem Abbinden der Suspension beachtet werden.

7.3.3 Wenn die Verformungen der Düsenstrahlelemente oder -körper von Bedeutung sind, müssen bei der Planung die Kenngrößen und Verformungen, die in gesonderten Abnahmeprüfungen und während der Ausführung zu ermitteln sind, angegeben werden.

7.3.4 Die erforderliche charakteristische Festigkeit des erhärteten Düsenstrahlmaterials muss unter Berücksichtigung der Heterogenität der Bodeneigenschaften bei der Planung festgelegt werden. Der Nachweis der charakteristischen Festigkeit muss nach Anhang A erfolgen.

7.3.5 Wenn das Ergebnis der Düsenstrahlarbeiten durch indirekte Prüfungen kontrolliert wird, müssen bei der Planung die Abnahmekriterien in Form der zu messenden Parameter angegeben werden.

7.3.6 Die Düsenstrahlsäulen können durch Bewehrungen (Stahlstäbe, Stahlrohre, Träger) verstärkt werden, die während oder unmittelbar nach dem Herstellen der Düsenstrahlelemente eingebracht werden.

7.4 Durchlässigkeit

7.4.1 Wenn die Durchlässigkeit der Düsenstrahlelemente oder -körper von Bedeutung ist, müssen bei der Planung die Kenngrößen angegeben werden, die in gesonderten Abnahmeprüfungen zu ermitteln sind.

7.4.2 Bei der Festlegung der Durchlässigkeit des gesamten Düsenstrahlkörpers sollte die ungünstigste vorübergehende oder dauerhafte Bauphase betrachtet werden.

8 Ausführung

8.1 Allgemeines

8.1.1 Die Ausführung von Düsenstrahlarbeiten erfordert Kenntnis und Erfahrung in dieser Verfahrenstechnik.

8.1.2 Der hohe Druck beim Düsenstrahlverfahren dient zur Erzeugung eines energiereichen Strahls, der das Bodengefüge auflöst. Es ist kein Druck, der sich auf den Boden auswirkt.

8.1.3 Ausführungsverfahren für Düsenstrahlelemente

Üblicherweise umfasst die Ausführung folgende Arbeitsschritte:

- Herstellen eines Bohrlochs mit einer bestimmten Länge;
- Einführung des mit dem Düsengestänge verbundenen Düsenträgers bis zur Bohrlochsohle. Dieser Arbeitsgang entfällt, wenn Gestänge und Düsenträger auch zum Bohren verwendet werden;
- Pumpen von Flüssigkeit(en) oder Suspension durch das Düsengestänge unter hohem Druck bei gleichzeitigem Ziehen und Drehen des Gestänges nach Bedarf mit vorher festgelegten Werten für Ziehgeschwindigkeit, Pumpendruck und Durchflussrate für jede einzelne Flüssigkeit.

8.1.4 Andere Ausführungsverfahren

Baustellenbedingt dürfen auch andere Ausführungsverfahren angewandt werden, wie z. B.:

- Vorschneiden;
- Ausführung in mehreren aufeinanderfolgenden Schritten: zunächst wird das Element über eine vorbestimmte Länge vom Bohrlochmund aus hergestellt und das Aushärten abgewartet. Dann, nach einem Überbohren des behandelten Bodens, wird der Vorgang in einer tieferen Stufe wiederholt und so weitergeführt, bis die planmäßig vorgesehene Tiefe des zu behandelnden Bodens erreicht ist.
- Top-down-Düsenstrahlverfahren an Elementen, bei denen die Düse an dem Ende angesetzt wird, welches sich am Bohrlochmund befindet, und sich zum vom Bohrlochmund entfernten Ende vorarbeitet.
- Düsenstrahlpfähle, bei denen der Boden durch Vorschneiden erodiert wird und der durch dieses Verfahren erzeugte Hohlraum über ein separates Kontraktorrohr mit Beton aufgefüllt wird, wodurch die darin enthaltenen Stoffe ersetzt werden.

8.1.5 Verfahrensbeschreibung

Vor Beginn der Düsenstrahlarbeiten muss eine Verfahrensbeschreibung erarbeitet werden. Diese sollte mindestens die folgenden Angaben enthalten:

- Kennzeichnung, Ziel und Anwendungsbereich der Düsenstrahlarbeiten;
- Bodenbeschreibung, einschließlich Gruppierung von Schichten in äquivalente Zonen;
- Ausmaß und Umfang der Düsenstrahlelemente;
- Düsenstrahlssystem;
- Planung und Entwurf der Düsenstrahlarbeiten;

- Arbeitsablauf (Bohren, Düsen, Reihenfolge der Herstellung);
- provisorische Düsenstrahlparameter für Homogenbereiche (zu bestätigen durch Erstprüfungen);
- verwendete Stoffe (für Bohren und Düsen);
- Schwellen- und Grenzwerte, z. B. für Verformungen, die den Ausführungsprozess begrenzen, sofern relevant und durch die Planung vorgegeben, und zu treffende Vorsichtsmaßnahmen;
- Baustelleneinrichtung und Arbeitsbereich;
- Ausrüstung und Gerät;
- Entsorgungskonzept für den Rückfluss;
- Maßnahmen zur Qualitätskontrolle entsprechend den Vertragsbedingungen;
- Toleranzen nach den Angaben in der Ausführungsplanung;
- Maßnahmen, um die Bohrgenauigkeit innerhalb der angegebenen Toleranzen zu gewährleisten;
- Maßnahmen, um Störungen aus möglichen Unterbrechungen oder ein Blockieren des Rückflusses während des Düsenvorganges zu vermeiden;
- Maßnahmen, um sicherzustellen, dass der nach Abschluss des Düsenvorganges erreichte Suspensionspiegel auch nach dem Absetzen der Zementsuspension gehalten werden kann;
- Möglichkeiten der Änderung der Düsenstrahlparameter während der Arbeiten;
- Prüfmethoden;
- Dokumentation der Arbeit (Pläne, Berichte).

8.2 Ausrüstung

Die Ausrüstung muss in der Lage sein, die Arbeiten, wie in der Verfahrensbeschreibung angegeben, auszuführen. Es muss mindestens Folgendes dokumentiert werden:

- die Zug- und Rotationsgeschwindigkeit des Düsengestänges mit den vorgesehenen Parametern;
- der Zufluss der Flüssigkeit(en) und der Suspension zum Bohr- und Düsengestänge bei vorgegebenem Druck und vorgegebener Fließgeschwindigkeit.

8.3 Vorbereitung der Baustelle

8.3.1 Die Vorbereitung muss in Übereinstimmung mit den Planungsunterlagen und den spezifischen Bedingungen auf der Baustelle durchgeführt werden. Dies muss einen geeigneten Zugang für Ausrüstung und Gerät, den Aushub, das Reinigen und Ausrichten der Arbeitsebene, das Gewährleisten einer ausreichenden Tragfähigkeit für die Ausrüstung, ausreichend Platz für die Lagerung von Materialien sowie die Sammlung, Behandlung und/oder Entsorgung von Rückfluss umfassen.

8.3.2 Eine angemessene Stabilität der Arbeitsebene muss für nach EN 16228-1:2014, Anhang F, berechnete Lagerdrücke nach EN 1997-1 bestätigt werden.

8.3.3 Alle auf die Baustelle gelieferten Materialien und Produkte müssen aus Gründen der Qualitätskontrolle registriert werden und mit den Planungsunterlagen abgeglichen werden.

8.3.4 Die Materialien müssen vor dem Eindringen von Feuchtigkeit oder Luft oder vor anderen Einflüssen, die ihre Nutzbarkeit und/oder Qualität beeinträchtigen könnten, geschützt werden.

8.3.5 Ein System zur Sammlung und Entsorgung des Rückflusses muss vorgesehen werden. Das Entsorgungskonzept für den Rückfluss kann folgende Maßnahmen umfassen:

- die Sammlung am Bohrlochmund;
- zeitweilige Zwischenlagerung auf der Baustelle;
- bestmögliche Vorbehandlung;
- Wiederverwendung für andere Bautätigkeiten;
- endgültige Entsorgung.

8.3.6 Bei subhorizontalen Düsenstrahlverfahren sind geeignete Maßnahmen für die Standsicherheit der Fläche zu treffen.

8.3.7 Bevor mit den Düsenstrahlarbeiten begonnen wird, müssen die Angaben in Abschnitt 4 genau überprüft werden.

8.4 Bohrung und Toleranzen

8.4.1 Jedes Bohrloch muss in Übereinstimmung mit den Spezifikationen genau eingemessen und gekennzeichnet werden.

8.4.2 Die Bohrung kann mit jedem geeigneten System vorgenommen werden.

8.4.3 Sofern das Bohrloch nicht standfest ist oder größere Verluste der Bohrspülung festgestellt werden oder die Baugrundverhältnisse auf andere Weise dazu beitragen, dass der Rückfluss behindert wird, müssen geeignete Vorbeugemaßnahmen eingeleitet werden, z. B. eine Verrohrung.

8.4.4 Der Ringraum zwischen Bohrlochwandung und Gestänge sollte so groß sein, dass er den freien Rückfluss zum Bohrlochmund ermöglicht.

8.4.5 Wenn unerwartete Hindernisse im Untergrund auftreten, sollten entsprechende Maßnahmen ergriffen werden, um unerwünschte Effekte während des Düsens zu vermeiden.

8.4.6 Düsenstrahlelemente müssen in Übereinstimmung mit den angegebenen Toleranzen hergestellt werden.

8.5 Düsenstrahlarbeit

8.5.1 Beim Herstellen von Lamellenwänden, Segmenten und nichtzylindrischen Elementen muss die Richtung der Düsen sorgfältig kontrolliert werden.

8.5.2 Es müssen angemessene Maßnahmen ergriffen werden, damit der Suspensionsspiegel oberhalb des Elements bleibt und sich keine Hohlräume bilden.

8.5.3 Bei Unterfangungen müssen Maßnahmen ergriffen werden, die einen direkten Kontakt zwischen der Oberfläche der Düsenstrahlsäule und der Fundamentunterkante sicherstellen.

8.5.4 Um einen örtlichen Ausfall zu vermeiden und die Sicherheit auf der Baustelle zu gewährleisten, muss das Düsenstrahlverfahren mit einem ausreichenden Abstand zwischen der oberen Düse und der Geländeoberfläche ausgeführt werden.

8.5.5 Wird das Düsenstrahlverfahren aus außergewöhnlichen Gründen unterbrochen, muss die Wiederaufnahme des Verfahrens an einer Stelle erfolgen, die eine Überlappung mit dem bereits hergestellten Element gewährleistet, um die Herstellung eines durchgängigen Elements sicherzustellen. Ein normaler Gestängeaustausch stellt keine Unterbrechung des Verfahrens dar, sofern der Austausch ohne Verzögerung vorgenommen wird.

8.6 Rückfluss

8.6.1 Während des Düsens sind die Kontinuität und die Merkmale des Rückflusses am Bohrlochmund ständig zu beobachten.

8.6.2 Eine weitere Kontrolle darf durch das Messen bestimmter physikalischer oder chemischer Eigenschaften des Rückflusses erreicht werden.

8.6.3 Falls während des Düsens ein unerwartetes Verhalten des Rückflusses beobachtet wird, sollten die Ausführungsparameter und/oder das Verfahren überprüft werden.

8.6.4 Eine unerwartete Verringerung des Rückflusses muss unverzüglich untersucht und beseitigt werden.

8.7 Einbringen der Bewehrung

Eine Bewehrung kann in das frisch gedüste Material während oder unmittelbar nach der Fertigstellung des Düsenstrahlelements eingebracht werden. Als Alternative dazu kann die Bewehrung in ein Bohrloch eingebracht werden, das in das ausgehärtete Element gebohrt wurde.

9 Bauüberwachung, Prüfungen und Kontrollen

9.1 Allgemeines

9.1.1 Folgende Daten müssen aus Kontrollgründen bei der Herstellung von Düsenstrahlelementen geprüft werden (in Übereinstimmung mit Anhang C):

— Abmessungen;

— Homogenität;

und, wenn erforderlich:

— Festigkeit, Steifigkeit, Durchlässigkeit oder Dichte des erhärteten Düsenstrahlmaterials.

9.1.2 Die Prüfhäufigkeit von Abmessungen und Eigenschaften des Düsenstrahlelements muss festgelegt werden. Typische Prüfhäufigkeiten können Anhang C entnommen werden.

9.1.3 Beim Düsenstrahlverfahren muss die Qualitätskontrolle mindestens die Aufzeichnung der Düsparemeter und die Beobachtung des Rückflusses bei allen hergestellten Elementen, wie in 9.5 angegeben, umfassen.

9.1.4 Es darf davon ausgegangen werden, dass unter vergleichbaren Bedingungen (Boden, Grundwasserspiegel usw.) bei gleichen Parametern des Düsenstrahlverfahrens und gleichem Rückfluss Elemente mit gleichen Maßen und Eigenschaften entstehen.

9.1.5 Zu Beginn des Düsenstrahlverfahrens sollten die Abmessungen und die Materialeigenschaften auf Grundlage einer bestimmten Anzahl an Prüfelementen ermittelt werden, um den Zusammenhang zwischen Düsenstrahlparametern und Elementeigenschaften herzustellen. Typische Prüfhäufigkeiten können Anhang C entnommen werden.

9.1.6 Wenn vergleichbare Erfahrungen (wie sie in EN 1997-1:2004²⁾ 1.5.2.2 beschrieben sind) mit dem gleichen Düsenstrahlsystem in ähnlichen Bodenbedingungen vorliegen, dürfen separate Prüfelemente vor der Ausführung weggelassen werden. Das gilt nur dann, wenn es die Ausschreibung nicht anders vorsieht und eine Überwachung der Düsenstrahlarbeiten erfolgt.

9.2 Vorversuche

9.2.1 Wenn Erfahrungen unter vergleichbaren Bodenbedingungen nicht vorliegen, müssen vor Beginn der Arbeiten Probeelemente vorgesehen und hergestellt werden. Dabei müssen alle wesentlichen Bedingungen, die auf der Baustelle möglicherweise gleichzeitig zusammentreffen können, erfasst werden, um:

- das bestgeeignete System und die günstigsten Düsenstrahlparameter auszusuchen;
- nachzuweisen, dass mit dem ausgewählten System und den ausgewählten Düsenstrahlparametern die Planungserfordernisse erfüllt werden.

Probeelemente können Teil der Hauptarbeiten sein, sofern in den Spezifikationen nichts anderes angegeben ist.

9.2.2 Wenn vor Beginn der Arbeiten Probeelemente hergestellt wurden und die Säulen freigelegt werden können, sollten die geometrischen und mechanischen Eigenschaften der Düsenstrahlelemente durch Sichtprüfung und durch Laborversuche an Bohrkernen oder an Probestücken beurteilt werden.

9.2.3 Wenn vor Beginn der Arbeiten Probeelemente hergestellt wurden und die Probeelemente nicht freigelegt werden können, sollten im Wesentlichen die geometrischen Eigenschaften durch direkte oder indirekte Messungen noch vor Abbinden der Düsenstrahlsuspension beurteilt werden.

9.2.4 Wenn bei der Bauausführung die Ermittlung der Abmessung der Elemente durch indirekte Prüfung erfolgt, sollten dieselben Prüfverfahren bereits bei den Probeelementen angewendet werden, und die Ergebnisse sollten mit direkten Prüfungen der Probeelemente verglichen werden, um die Zuverlässigkeit der Prüfverfahren festzustellen.

ANMERKUNG Anhang C enthält eine Auflistung einiger Prüfungen und ihre Mindestprüfhäufigkeit.

9.3 Überwachung und Verfahrensprüfungen

9.3.1 Für Manometer und andere bei den Messungen der Düsparemeter verwendete Messgeräte muss vor Beginn der Arbeiten eine dokumentierte gültige Kalibrierung oder ein Prüfbericht vorliegen.

9.3.2 Der Druck der Flüssigkeiten muss am Bohrgerät gemessen werden, um Beeinträchtigungen durch Druckabfälle zu vermeiden.

9.3.3 Die Anfangsneigung des Bohr- und Düsgestänges muss vor dem Bohren an der Oberfläche gemessen und während des Bohrens regelmäßig überprüft werden. Sofern in der Planung vorgesehen, muss die Lage des Bohr- und Düsgestänges nach Fertigstellung der Bohrung gemessen werden.

2) Durch EN 1997-1:2004/A1:2013 geändert und EN 1997 1:2004/AC:2009 berichtigt.

9.3.4 Die Menge und die Eigenschaften des Rückflusses müssen beobachtet werden und die Beobachtungen müssen aufgezeichnet werden.

9.3.5 Alle Messungen, die in Übereinstimmung mit der Verfahrensbeschreibung aufgrund einer Blockierung des Rückflusses durchgeführt werden, müssen aufgezeichnet werden.

9.3.6 Die Dichte, das Abbindeverhalten und weitere relevante Eigenschaften des Rückflusses sollten regelmäßig bestimmt und aufgezeichnet werden. Unerwartete Veränderungen sollten analysiert werden.

9.3.7 Repräsentative Proben des Rückflusses sollten entnommen und die Druckfestigkeit sollte ermittelt werden.

9.3.8 Typische Prüfungen und ihre Häufigkeit für Probe- und Arbeitselemente sind in Anhang C gegeben. Die folgenden Prüfungen sollten für das Gemisch durchgeführt werden, um eine einheitliche Material- und Gemischqualität zu gewährleisten:

— Vorversuche:

— Dichte;

— Absetzmaß;

— Marsh-Viskosität;

— Abbindezeit;

— einaxiale Druckversuche an zylindrischen Proben (Verhältnis Höhe/Durchmesser: 2,0), nach 3, 7, 28 Tagen und, falls langsam erhärtende Mischungen verwendet werden, nach 56 Tagen;

— Versuche während der eigentlichen Arbeiten:

— Dichte; Marsh-Viskosität;

— Absetzmaß.

9.4 Prüfung der Düsenstrahlelemente

9.4.1 Prüfung zur Beurteilung der Abmessungen

9.4.1.1 In Übereinstimmung mit den Spezifikationen muss entweder eine Sichtprüfung oder direkte und/oder indirekte Messung der Abmessungen erfolgen. Typische Prüfhäufigkeiten sind in Anhang C gegeben. Kernbohrungen dürfen erst dann durchgeführt werden, wenn eine für das Bohrverfahren ausreichende Erhärtungszeit verstrichen ist.

9.4.1.2 Die Kernbohrmethode, die Bohrausrüstung und der Kerndurchmesser sollten gewährleisten, dass repräsentative Proben erhalten werden, wo Zugang und Bodenbedingungen dies erlauben.

9.4.1.3 Kann die Kernbohrmethode (möglicherweise) nicht erfolgreich angewandt werden, müssen andere Prüfverfahren in Betracht gezogen werden (7.1.11).

9.4.2 Mechanische Prüfungen

9.4.2.1 Wenn zur Ermittlung der mechanischen Eigenschaften des Düsenstrahlelements in-situ-Prüfungen angewendet werden, muss die Lage des Messgerätes auf die Abmessungen und das Aussehen des Elements bezogen werden.

9.4.2.2 Druckversuche müssen, wie in Anhang A und C angegeben, durchgeführt werden.

9.4.2.3 Die Mindesthäufigkeit zur Prüfung der Druckfestigkeit ist in Anhang C gegeben.

9.4.2.4 Die für mechanische Prüfungen entnommenen Proben müssen nach EN 12390-2 unter kontrollierten Feuchtigkeits- und Temperaturbedingungen aufbewahrt werden.

9.4.3 Durchlässigkeitsprüfungen

9.4.3.1 Die Wasserdichtigkeit eines Düsenstrahlkörpers muss in Übereinstimmung mit Anhang C beurteilt werden.

9.4.3.2 Die Wasserdichtigkeit der einzelnen Düsenstrahlelemente kann durch Bohrlochmessungen überprüft werden.

9.5 Überwachung

9.5.1 Die Überwachung und Aufzeichnung der angewandten Düsparameter während der Ausführung der Düsenstrahlarbeiten sind für die Qualitätskontrolle der Ergebnisse erforderlich.

9.5.2 Die folgenden Parameter müssen bei allen Elementen digital und kontinuierlich in Echtzeit festgehalten werden, außer bei kurzzeitigen, unvermeidlichen Anlagenstörungen:

- Drücke und Durchflussraten aller Flüssigkeiten und der Luft;
- Tiefe, Zieh- und Drehgeschwindigkeit des Düsgestänges.

9.5.3 Wenn die Düsenstrahlarbeiten in Situationen durchgeführt werden müssen, in denen Verformungen Auswirkungen auf die Stabilität und Nutzbarkeit von direkt oder indirekt betroffenen Bauwerken haben können, müssen in Übereinstimmung mit den Spezifikationen geeignete Überwachungs- und Alarmsysteme installiert werden.

10 Aufzeichnungen

10.1 Auf der Baustelle verfügbare Unterlagen

10.1.1 Folgende Unterlagen müssen auf der Baustelle vor Beginn der Haupt-Düsenstrahlarbeiten vorliegen:

- technische, Sicherheits- und Umweltspezifikationen;
- Beschreibung von Lage und Zustand von an der Baustelle angrenzenden Bauwerken, Straßen, Einbauten usw.;
- Ausführungszeichnungen;
- Verfahrensbeschreibung (siehe 8.1.5);
- Baugrundgutachten in Übereinstimmung mit EN 1997-2;
- Bericht über Vorversuche, sofern ausgeführt.

10.1.2 Die Ausführungszeichnungen für die Düsenstrahlarbeiten müssen folgende Angaben enthalten:

- Bodenprofil im Maßstab der Querschnitte und mit diesen bündig ausgerichtet;