

DIN EN 14490

ICS 93.020

**Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau –
Bodenvernagelung;
Deutsche Fassung EN 14490:2010**

Execution of special geotechnical works –
Soil nailing;
German version EN 14490:2010

Exécution des travaux géotechniques spéciaux –
Clouage;
Version allemande EN 14490:2010

Gesamtumfang 75 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 14490:2010) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 288 „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-05-20 AA „Bodenbewehrungssysteme“ (SpA zu CEN/TC 288/WG 9 und WG 13 sowie CEN/TC 341/WG 4) im Normenausschuss Bauwesen (NABau).

ICS 93.020

Deutsche Fassung

Ausführung von Arbeiten im Spezialtiefbau — Bodenvernagelung

Execution of special geotechnical works —
Soil nailing

Exécution des travaux géotechniques spéciaux —
Clouage

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 25. April 2010 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

Seite

Vorwort	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe und Symbole	5
4 Für die Ausführung der Arbeiten notwendige Informationen	7
5 Geotechnische Untersuchung	9
6 Werkstoffe und Produkte	10
7 Grundlagen der Bemessung	14
8 Ausführung	16
9 Bauaufsicht, Prüfung und Überwachung	25
10 Aufzeichnungen	30
11 Besondere Anforderungen	31
Anhang A (informativ) Praktische Aspekte der Bodenvernagelung	33
Anhang B (informativ) Grundlagen der Konstruktion	44
Anhang C (informativ) Prüfung von Bodennagelsystemen	51
Anhang D (informativ) Grad der Verbindlichkeit der Festlegungen	61
Literaturhinweise	73

Vorwort

Dieses Dokument (EN 14490:2010) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 288 „Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Dezember 2010, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Dezember 2010 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Der Aufgabenbereich von CEN/TC 288 besteht darin, die Verfahren zur Ausführung geotechnischer Arbeiten (einschließlich Prüf- und Kontrollverfahren) sowie die erforderlichen Werkstoffeigenschaften zu normieren. CEN/TC 288/WG 13 wurde die Erstellung der Norm EN 14490 im Themenbereich Bodenvernagelung übertragen.

Das vorliegende Dokument wurde neben der Norm EN 1997-1, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln* erstellt. Der Abschnitt „Grundlagen der Bemessung“ der vorliegenden Europäischen Norm behandelt lediglich Themen, die während der Ausführungsphase der Bodenvernagelung berücksichtigt werden sollten, um die Bemessung des Bodenvernagelungssystems sicherzustellen. Mit der vorliegenden Europäischen Norm sind jedoch auch die Anforderungen an die Bauausführung und Überwachung vollständig abgedeckt.

Die vorliegende Europäische Norm wurde von einer Arbeitsgruppe entworfen, der Beauftragte aus zehn Ländern angehören, und die Anmerkungen dieser Länder wurden bei der Erstellung der Norm berücksichtigt.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

1 Anwendungsbereich

1.1 Diese Europäische Norm legt die allgemeinen Grundsätze für die Bauausführung, Prüfung, Aufsicht und Überwachung von Bodenvernagelung fest.

1.2 Bodenvernagelung ist eine Bauausführungstechnik, die eingesetzt wird, um mittels des Einbaus von Bewehrungen (Bodennägel), die Standfestigkeit einer Bodenmasse zu erhöhen/aufrechtzuerhalten. Typische Beispiele für Bodenvernagelung sind in Anhang A angegeben.

1.3 Der Anwendungsbereich von Bodenvernagelungsanwendungen, die in dieser Europäischen Norm berücksichtigt werden, enthält den Einbau und die Prüfung von Bodennägeln und damit verbundenen Arbeitsvorgängen, die erforderlich sind, wenn bestehende und neugeschnittene Böschungen und Frontausbildungen im Boden, bestehende Erdsicherungsstrukturen, Böschungen, bestehende Tunnel und freigelegte Frontausbildungen neuer Tunnel im Boden stabilisiert werden.

1.4 Bodenvernagelung kann Teil einer Mischbauausführung sein. Diese Europäische Norm bezieht sich nur auf den Aspekt der Bodenvernagelung solcher Bauausführungen.

1.5 Techniken, wie die Verstärkung des Bodens durch vertikale Einschlüsse (Spundbohlen, Bohr- oder Rammpfähle, Holme oder weitere Bauelemente) und die Stabilisierung von Felswänden mit Gebirgsankern, Verpressankern oder Zugpfählen sind durch diese Europäische Norm nicht abgedeckt.

1.6 Leitlinien bezüglich praktischer Aspekte der Bodenvernagelung und Aspekte der Konstruktion, Dauerhaftigkeit und Prüfung sind jeweils in den informativen Anhängen A, B bzw. C angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente 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 196-1, *Prüfverfahren für Zement — Teil 1: Bestimmung der Festigkeit*

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

EN 206-1, *Beton — Teil 1: Festlegung, Eigenschaften, Herstellung und Konformität*

EN 1537, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) — Verpressanker*

EN 1992-1-1, *Eurocode 2: Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken — Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau*

EN 1997-1:2004, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 1: Allgemeine Regeln*

EN 1997-2:2007, *Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik — Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds*

EN 10025-2, *Warmgewalzte Erzeugnisse aus Baustählen — Teil 2: Technische Lieferbedingungen für unlegierte Baustähle*

EN 10079, *Begriffsbestimmungen für Stahlerzeugnisse*

EN 10080, *Stahl für die Bewehrung von Beton — Schweißgeeigneter Betonstahl — Allgemeines*

EN 10138 (alle Teile), *Spannstähle*

EN 10210 (alle Teile), *Warmgefertigte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen*

EN 10219 (alle Teile), *Kaltgefertigte geschweißte Hohlprofile für den Stahlbau aus unlegierten Baustählen und aus Feinkornbaustählen*

EN 10244 (alle Teile), *Stahldraht und Drahterzeugnisse — Überzüge aus Nichteisenmetall auf Stahldraht*

EN 10245 (alle Teile), *Stahldraht und Drahterzeugnisse — Organische Beschichtungen auf Draht*

EN 13251:2000, *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte — Geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Erd- und Grundbau sowie in Stützbauwerken*

EN 13670, *Ausführung von Tragwerken aus Beton*

EN 14487-1, *Spritzbeton — Teil 1: Begriffe, Festlegungen und Konformität*

EN 14488 (alle Teile), *Prüfung von Spritzbeton*

EN ISO 1461, *Durch Feuerverzinken auf Stahl aufgetragene Zinküberzüge (Stückverzinken) — Anforderungen und Prüfungen (ISO 1461:2009)*

3 Begriffe und Symbole

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1.1

Kopfplatte

mit dem Kopf des Bodennagels verbundene Platte, die einen Teil der Last von der Frontausbildung oder unmittelbar von der Oberfläche des Baugrundes zum Bodennagel leitet

3.1.2

Entwurfslebensdauer

Lebensdauer in Jahren, die durch die Konstruktion vorgegeben ist

3.1.3

Drainagesystem

Reihe von Dräns, Dränschichten oder weitere Mittel zur Kontrolle des Oberflächen- und Grundwassers

3.1.4

Frontausbildung

Abdeckung der Ansichtsfläche des bewehrten Baugrundes, die durch Stützen des Baugrundes zwischen den Bodennägeln eine stabilisierende Funktion hat, Schutz vor Erosion bietet und eine ästhetische Funktion haben kann

3.1.5

Drainage der Frontausbildung

ein System von Dräns, das zur Wasserregulierung hinter der Frontausbildung verwendet wird

3.1.6

Frontausbildungssystem

eine Anordnung von Frontausbildungselementen, die zur Erstellung einer fertigen Frontausbildung des bewehrten Baugrundes verwendet wird

3.1.7

Frontausbildungselement

ein einzelnes Element, das zur Konstruktion der Frontausbildung verwendet wird

3.1.8

bedingt nachgiebige Frontausbildung

eine biegsame Abdeckung, die dazu beiträgt, dass das Bodenmaterial in den Zwischenräumen der Nägel verbleibt

3.1.9

Baugrund

vor der Ausführung der Bauarbeiten vor Ort vorhandener Boden, Fels und Schüttung

3.1.10

starre Frontausbildung

eine steife Abdeckung, zum Beispiel Betonfertigteile aus Spritzbeton oder Ortbeton

3.1.11

Bauwerksnagel

ein Bodennagel, der ein Bestandteil des fertig gestellten Bodennagelbauwerkes ist

3.1.12

Bewehrungselement

allgemeine Bezeichnung für in den Baugrund eingelassene, bewehrende Einlagen

3.1.13

bewehrter Boden

Baugrund, der durch den Einbau von Bewehrungselementen verstärkt ist

3.1.14

Opfernagel

ein Bodennagel, der nach dem identischen Verfahren wie ein Bauwerksnagel eingebaut ist, allein um die Ausziehfestigkeit festzustellen, der aber nicht Teil eines Bodennagelbauwerkes ist

3.1.15

vollkommen nachgiebige Frontausbildung

eine weiche Frontausbildung hat nur die kurzfristige Funktion, die Festigkeit des Mutterbodens sicherzustellen, während sich Vegetation ansiedelt

3.1.16

Bodennagel

Bewehrung, üblicherweise in einem nach unten geneigten Winkel in den Baugrund eingebaut, die auf ihrer gesamten Länge Reibungswiderstand mit dem Boden erzeugt

3.1.17

Bodennagelkonstruktion

sämtliche Bauarbeiten, bei denen Bodennägel verwendet werden und die eine Frontausbildung und/oder ein Drainagesystem enthalten können

3.1.18

Bodennagelsystem

besteht aus einem Bewehrungselement und kann Fugen und Verbindungen, Zentriereinrichtungen, Abstandhalter, Einpressmittel und Korrosionsschutz einschließen

3.1.19

Prüfnagel

ein nach dem identischen Verfahren wie die Ausführungsnägel eingebauter Nagel, um die Ausziehfestigkeit und Beständigkeit zu überprüfen, der Teil der Konstruktion sein könnte

3.1.20

Prüflast

bei der Prüfung aufgebrauchte Last

3.2 Symbole

- 3.2.1** A_{gt} Dehnung einer metallischen Bewehrung
- 3.2.2** f_y Dehngrenze von Stahl
- 3.2.3** L_{db} ungebundene Nagellänge
- 3.2.4** p_p Prüflast (Höchstlast, der der Nagel während der Prüfung ausgesetzt ist)
- 3.2.5** P_0 Bezugslast
- 3.2.6** R_t Last, bei der Ausziehversagen auftritt
- 3.2.7** $R_{t,k}$ charakteristischer Wert für die strukturelle Zugfestigkeit des zu prüfenden Bodennagels oder eines beliebigen Verlängerungsstückes
- 3.2.8** $R_{t0,1,k}$ charakteristischer Wert für die 0,1 %-Dehngrenze des zu prüfenden Bodennagels oder eines beliebigen Verlängerungsstückes
- 3.2.9** s_1, s_2 gemessene Nagelverschiebung zum Zeitpunkt t_1 bzw. t_2
- 3.2.10** s_r restliche Nagelverschiebung
- 3.2.11** s_0 anfängliche Nagelverschiebung
- 3.2.12** t_1, t_2 zum Zeitpunkt t_1 und t_2 vorgenommene Messungen

4 Für die Ausführung der Arbeiten notwendige Informationen

4.1 Allgemeines

4.1.1 Vor Beginn der Ausführung der Arbeiten müssen alle notwendigen Informationen, insbesondere die Anforderungen (nach EN 1997-1) zur Verfügung stehen, die Folgendes umfassen, jedoch nicht allein darauf beschränkt sind:

- a) Einzelheiten zum Bodenvernagelungsprojekt und zum Bauablauf und -programm;
- b) Bericht über die Erkundung des Baugrundes einschließlich der geotechnischen Klassifizierung und der bautechnischen Eigenschaften des Baugrundes, in dem die Bodennägel angeordnet werden sollen;
- c) Angaben zu allen weiteren Randbedingungen einschließlich Untergrundeinrichtungen, vorhandener Fundamente (und ihrer Empfindlichkeit) sowie Anforderungen, die sich auf die Lage und Eigenschaften der Bodennägel beziehen;
- d) Einzelheiten zum Eigentümer des Baugrundes, in den die Bodennägel eingebaut werden sollen;
- e) Einzelheiten zu allen Vereinbarungen, die erforderlich sind, um Zugang zu dem Baugrund zu erlangen, in den die Bodennägel eingebaut werden sollen.

4.1.2 Die Informationen zu den Standortbedingungen müssen Folgendes enthalten:

- a) Angaben zur Baugrunderkundung über die Baugrundbedingungen zur Ausführung der Bodenvernagelungsarbeiten nach EN 1997-1 und EN 1997-2;
- b) die Baustellengeometrie (Randbedingungen, Topographie, Zugang, Böschungen, Einschränkungen in der Bauhöhe);
- c) die vorhandenen Oberflächen- oder Untergrundstrukturen, Einrichtungen, bekannte Verunreinigungen und archäologische Einschränkungen;
- d) die umweltschutzbedingten Einschränkungen, einschließlich Lärm, Erschütterungen, Luftverschmutzung;
- e) die zukünftig stattfindenden Tätigkeiten, wie zum Beispiel Entwässerung, Tunnelbau, Tiefenaushub;
- f) wenn der Standort im Einzugsbereich der Wirkung von Gezeiten oder Überflutung, kalten Klimabedingungen oder ähnlichen Einschränkungen liegt, Einzelheiten solcher Einschränkungen;
- g) Einzelheiten zu erwarteten Grundwasserspiegeln, hängenden Grundwasserpegeln und -schwankungen;
- h) die Bedingungen von Gebäuden, Straßen und Einrichtungen in unmittelbarer Umgebung der Arbeiten, einschließlich sämtlicher notwendiger Vermessungen.

4.2 Besondere Eigenschaften

4.2.1 Konstruktionstechnische Aspekte müssen, soweit zutreffend, Folgendes umfassen:

- a) Festlegung der geotechnischen Kategorie und der geplanten Lebensdauer des Bauwerkes;
- b) Beurteilung der Untersuchungsdaten des Standortes unter Beachtung der Konstruktionsannahmen;
- c) Gesamtkonstruktion der Bodenvernagelungsarbeiten;
- d) die einschlägigen zeitlichen Phasen der Ausführung;
- e) Spezifizierung des Bodenvernagelungssystems;
- f) alle weiteren konstruktionstechnischen Aspekte, an die bei der Ausführung der Arbeiten besondere Anforderungen bestehen.

4.2.2 Informationen zur Ausführung müssen Folgendes umfassen:

- a) Festlegung der Durchführung und des Ablaufs der auszuführenden Arbeiten;
- b) Festlegung des Dokumentationsverfahrens im Umgang mit unvorhergesehenen Umständen oder mit sämtlichen während der Bauausführung zu Tage tretenden oder berücksichtigter Bedingungen, die sich als schlechter als die in der Konstruktion angenommenen herausstellen;
- c) Festlegung des Dokumentationsverfahrens, wenn ein Beobachtungsverfahren der Konstruktion übernommen wird oder Überwachung erforderlich ist;
- d) festgelegte Höhen, Koordinaten und zulässige Abweichungen müssen auf Plänen oder in der Spezifizierung verzeichnet sein, zusammen mit den Positionen, Höhen und Koordinaten von festen Referenzpunkten auf oder in der Nähe des Standortes der Bauarbeiten;
- e) Festlegung der zulässigen Grenzzustände der Auswirkungen der Bodenvernagelung (Verformungen, Setzungen, Lärm, Schwingungen, Einpressverlust) auf bestehende und geplante Bauwerke;
- f) Lage der Hauptgitternetzlinien zum Abstecken.

4.2.3 Informationen zu Prüfung, Bauaufsicht und Überwachung müssen, soweit zutreffend, Folgendes umfassen:

- a) ein Verzeichnis sämtlicher Versuche und Prüf- und Annahmeverfahren für die in der Bodennagelungs-konstruktion eingesetzten Werkstoffe;
- b) ein Verzeichnis über vorausgegangene Versuche (falls gefordert) und entsprechende Prüfungen und Kontrollen;
- c) die Ergebnisse der Beurteilung von Versuchen und Prüfungen;
- d) Festlegung bezüglich der Opfernägeln, falls notwendig;
- e) eine Festlegung zur Überwachung der Auswirkungen der Bodenvernagelung auf die benachbarten Bauwerke und Einrichtungen und für die Auswertung der Ergebnisse.

5 Geotechnische Untersuchung

5.1 Allgemeines

5.1.1 Die geotechnische Untersuchung muss die Anforderungen von EN 1997-1 und EN 1997-2 erfüllen.

ANMERKUNG Hinweise auf die Tiefe und den Inhalt der geotechnischen Untersuchungen sind in EN 1997-2:2007, Anhang B enthalten.

5.1.2 Der Bericht über die geotechnische Untersuchung muss rechtzeitig bereitgestellt werden, so dass die Konstruktion und die Ausführung der besonderen geotechnischen Arbeiten zuverlässig umgesetzt werden können.

5.1.3 Der Bericht über die geotechnische Untersuchung ist dahingehend zu überprüfen, ob er für die Konstruktion und die Ausführung der besonderen geotechnischen Arbeiten ausreicht.

5.1.4 Wenn die geotechnischen Untersuchungen unzureichend sind, müssen zusätzliche Untersuchungen durchgeführt werden.

5.2 Besondere Anforderungen an die Bodenvernagelung

5.2.1 Die Wechselwirkung von Bodennagel und Baugrund muss berücksichtigt werden. Um die Eigenschaften der Kontaktfläche mit dem Bodennagel unmittelbar oder durch vergleichbare Erfahrungswerte beurteilen zu können, müssen in der Standortuntersuchung die natürlichen und mechanischen Eigenschaften des Baugrundes ermittelt (oder bestätigt) werden.

5.2.2 Die Standfestigkeit der Frontausbildung während der Bauausführung muss berücksichtigt werden, unter besonderer Beachtung der geotechnischen, hydrogeologischen und wasserwirtschaftlichen Bedingungen (siehe 9.3.4).

5.2.3 Wenn Großaushübe vorzunehmen sind, sollten für die Bestimmung der Standfestigkeit während der Bauausführung Aushubprüfungen durchgeführt werden.

5.2.4 Wenn es auf Grund der Standortbedingungen erforderlich ist, sollten spezielle Geräte eingebaut werden (Neigungsmesser, Piezometer, usw.).

5.2.5 Um die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit des Bodenvernagelungswerkstoffes hinsichtlich seiner geplanten Lebensdauer festzulegen, ist eine Beurteilung der Aggressivität des Baugrundes und des Grundwassers vorzunehmen, siehe Anhang B.

6 Werkstoffe und Produkte

6.1 Allgemeines

6.1.1 Bei einer Bodennagelkonstruktion können die folgenden Werkstoffteile einbezogen sein:

- a) Bodennagelsystem;
- b) Frontausbildungssystem;
- c) Drainagesystem.

6.1.2 Alle Anforderungen an Werkstoffe und Produkte müssen für die Arbeiten im Voraus auf der Grundlage einer Europäischen oder nationalen Norm festgelegt werden. Ist keine geeignete Europäische oder nationale Norm vorhanden, müssen die Anforderungen den Empfehlungen des Herstellers und der maßgeblichen Abnahmebescheinigung entsprechen. Die Übereinstimmung mit den festgelegten Anforderungen muss während der Ausführung dokumentiert werden.

6.1.3 Alle Anforderungen an Werkstoffe sind im Voraus festzulegen. Die Übereinstimmung mit den festgelegten Anforderungen muss während der Ausführung dokumentiert werden.

6.1.4 Die in Bodennagel-, Front- und Drainagesystemen verwendeten Werkstoffe und Produkte müssen untereinander vereinbar sein.

6.1.5 Werkstoffe und Produkte müssen über die notwendigen Eigenschaften verfügen, die sicherstellen, dass sie der geplanten Lebensdauer des Bauwerkes genügen und die Grenzen der Gebrauchstauglichkeit nicht überschritten sind.

6.1.6 Neu entwickelte Werkstoffe dürfen verwendet werden, wenn die Leistung des Systems und die Haltbarkeit der Werkstoffe nachgewiesen wurden.

6.2 Bodennagelsysteme

6.2.1 Allgemeines

Bodennagelsysteme werden unter Verwendung einer großen Bandbreite von Werkstoffen und Anordnungen hergestellt. Die folgenden Abschnitte beschreiben die Hauptteile, die für die Herstellung eines Bodennagelsystems erforderlich sein können. Beispiele für Bodennagelsysteme sind in Anhang A angegeben.

6.2.2 Bewehrung

6.2.2.1 Allgemeines

6.2.2.1.1 Die Bewehrung des Nagels wird gewöhnlich aus Metall (typischerweise Stahl) und zu einem geringeren Anteil aus anderen Werkstoffen, wie zum Beispiel faserverstärkten Kunststoffen, Geokunststoffen oder Kohlenstofffasern hergestellt.

ANMERKUNG Die Bewehrung kann ein massiver Stab, ein hohler Stab, ein Winkelstab oder von einer anderen Form im Querschnitt sein.

6.2.2.1.2 Wenn die Nägel einzupressen sind, können sie gerippt oder mit einem Profil versehen sein, um die Bindungswirkung mit dem Einpressmittel zu verbessern.

6.2.2.1.3 Alle Bewehrungen müssen die in der Konstruktion geforderten Merkmale der Last-/Verformung, Haltbarkeitsmerkmale und Merkmale der Wechselwirkung Boden – Bewehrung vorweisen können.

6.2.2.2 Metallische Bewehrung

6.2.2.2.1 Alle Bewehrungen aus Metall müssen 6.1.2, und insbesondere folgenden Punkten entsprechen (keine vollständige Aufzählung):

- a) eine metallische Bewehrung muss bei Versagen eine Dehnung (A_{gt}) von mindestens 5 % aufweisen;
- b) ein als Bewehrung verwendeter massiver Metallstab muss mit EN 10080 übereinstimmen;
- c) ein als Bewehrung verwendeter hohler Metallstab muss mit EN 10210 (allen Teilen) oder EN 10219 (allen Teilen) übereinstimmen;
- d) ein als Bewehrung verwendetes Produkt aus warmgewalztem Stahl muss mit EN 10025-2 übereinstimmen;
- e) als Bewehrung verwendete vorgepresste Stahlprodukte müssen mit EN 10138 (allen Teilen) übereinstimmen.

6.2.2.2.2 Die Bewehrung muss eine Mindestdicke haben, die ihr mechanisches Verhalten während der gesamten geplanten Lebensdauer sicherstellt.

6.2.2.2.3 Bei Verwendung einer Stahlbewehrung sollte die Entwurfslebensdauer infolge von Korrosion beachtet werden, siehe Anhang B.

6.2.2.2.4 Beschichtungen und Zusammensetzungen als Korrosionsschutz müssen den Bauvorschriften entsprechen. Die Dauer der Schutzbeschichtung in der Nähe von Verbindungselementen muss den Bauvorschriften entsprechen.

6.2.2.2.5 Der Korrosionsschutz von hochfestem Stahl und vorgepresstem Stahl muss EN 1537 entsprechen.

ANMERKUNG Stahl kann als hochfester Stahl klassifiziert werden, wenn $f_y > 600$ MPa ist und wenn keine weiteren Informationen vorliegen.

6.2.2.2.6 Wenn eine Bewehrung aus Stahl galvanisiert ist, muss die feuerverzinkte Beschichtung mit den Anforderungen in EN ISO 1461 übereinstimmen.

6.2.2.3 Nichtmetallische Bewehrung

6.2.2.3.1 Vorausgesetzt, sie stimmen mit 6.1.2 überein, können weitere Werkstoffe als Bewehrung eines Bodennagels verwendet werden.

6.2.2.3.2 Werden andere Werkstoffe verwendet, müssen sie ein duktileres Verhalten aufweisen.

6.2.2.4 Fugen und Verbindungen

6.2.2.4.1 Fugen und Verbindungen können die Festigkeit des Bodennagelsystems beeinflussen.

6.2.2.4.2 Der Korrosionsschutz für die Verbindung muss mit dem Schutz für die Bewehrung vereinbar sein.

6.2.3 Einpressmittel

6.2.3.1 Zementhaltige oder nichtzementhaltige Einpressmittel müssen mit der Bewehrung vereinbar sein.

6.2.3.2 Wird Einpresszement als Teil eines Bodennagelsystems verwendet, so muss der Zement EN 197-1 und den Festlegungen dieser Norm entsprechen.

ANMERKUNG Bei der Auswahl der Zementsorte des Einpressmittels sollte die Aggressivität der Umgebung, die Durchlässigkeit des Baugrundes und die Entwurfslebensdauer des Nagels berücksichtigt werden. Die Aggressivität der Umgebung kann nach EN 206-1 bestimmt werden.

6.2.3.3 Die Verhältnisse von Wasser/Zement (Gewichtsverhältnis) sollten für die Baugrundbedingungen, das Bauausführungsverfahren des Nagelsystems und die Anforderungen an Haltbarkeit und Festigkeit geeignet sein.

ANMERKUNG Ein üblicher Höchstwert ist 0,55.

6.2.3.4 Zusatzmittel können zur Verbesserung der Bearbeitbarkeit, Haltbarkeit, Verminderung des Schwitzens, Verminderung des Schrumpfens oder der Einstellungsgeschwindigkeit der Setzung und Festigkeitsentwicklung eingesetzt werden.

6.2.3.5 Zusatzmittel sollten keine Stoffe enthalten, die dazu neigen, die Bewehrung oder das Einpressmittel selbst zu beschädigen. Zusatzmittel, die Chloride, Sulfate oder Nitrate mit einem Massenanteil von mehr als 0,1 % enthalten, sollten nicht verwendet werden.

6.2.3.6 Inerte Füllstoffe können in das Einpressmittel eingebracht werden, zum Beispiel die Zufuhr von Sand oder eines angemessenen Anteils von bekanntem Bohraussatzgut, vorausgesetzt, es entspricht den vereinbarten Festlegungen.

6.2.3.7 Das Einpressmittel sollte typischerweise eine charakteristische Mindestfestigkeit von 5 MPa erreichen, bevor Last in den Bodennagel einwirkt und die charakteristische 28-Tage-Festigkeit der Einpressmittelmischung sollte nicht weniger als 25 MPa betragen.

6.2.4 Hüllrohre und Schutzkanäle

Falls verwendet, dürfen Hüllrohre und Schutzkanäle die Lastübertragung zwischen Bewehrung und Baugrund nicht beeinträchtigen.

6.3 Frontausbildungssysteme

6.3.1 Allgemeines

6.3.1.1 Frontausbildungssysteme sind aus einer Vielzahl von Werkstoffen, Zusammensetzungen und Anschlüssen zu den Bewehrungen aufgebaut. Frostbeanspruchte Frontausbildungen sollten mit einer Isolierung vor Frost geschützt werden und eine zusätzliche Entwässerung aufweisen. Typische Frontausbildungssysteme sind in Anhang A beschrieben.

6.3.1.2 Alle Frontausbildungssysteme, einschließlich der Anschlüsse zwischen den Frontausbildungen und der Bewehrung, müssen mit 6.1.2 übereinstimmen.

6.3.1.3 Das Frontausbildungssystem muss die Bauausführung und die Leistungsfähigkeit über die Entwurfslebensdauer innerhalb festgelegter zulässiger Abweichungen vertikaler und horizontaler Ausrichtung ermöglichen.

6.3.1.4 Das Frontausbildungssystem muss in der Lage sein, Differentialsetzungen, die auf Grund der Konstruktion gefordert sind, auszuhalten, ohne dass dabei die Struktur der Frontausbildung beschädigt wird.

6.3.1.5 Die Eignung des Frontausbildungssystems muss durch vergleichbare Erfahrungswerte oder Prüfungen der Gebrauchstauglichkeit des Systems und der Haltbarkeit der verwendeten Werkstoffe für die Entwurfslebensdauer der Bodennagelbauausführung nachgewiesen werden.

6.3.1.6 Verbindungen zwischen der Frontausbildung und den Bodennägeln müssen entsprechend den Anforderungen der Konstruktion geeignet sein, Last von der Frontausbildung auf die Nägel zu übertragen und in der Lage sein, Differentialsetzungen zwischen der Frontausbildung und dem Boden auszuhalten.

6.3.1.7 Verbindungen zwischen der Frontausbildung und den Bodennägeln sollten in der Lage sein, Ausrichtungsfehler auf Grund des Einbaus auszugleichen.

6.3.2 Paneele und Blöcke (üblicherweise aus Fertigbeton)

6.3.2.1 Betonpaneele sollten mit EN 206 übereinstimmen.

6.3.2.2 Wenn die Betonpaneele bewehrt sind, müssen die Stahlbewehrungen mit EN 10080 übereinstimmen.

6.3.2.3 Die sich im Kontakt mit dem Baugrund befindliche Betonabdeckung der Frontausbildung muss den Festlegungen in EN 1992-1-1 für feuchte Umgebungen oder weitere härtere Umgebungen entsprechen.

6.3.3 Spritzbeton und Ortbeton

6.3.3.1 Der verwendete Zement muss mit EN 197-1 übereinstimmen und der Beton muss mit EN 206-1 übereinstimmen. Spritzbeton müssen EN 14487-1 entsprechen.

6.3.3.2 Zusatzmittel und Zusätze dürfen in den Spritzbeton eingebracht werden.

6.3.3.3 Die sich im Kontakt mit dem Baugrund befindliche Betonabdeckung der Frontausbildung muss den Festlegungen in EN 1992-1-1 für feuchte Umgebungen oder weitere härtere Umgebungen entsprechen.

6.3.3.4 Die Zuschlagstoffe für den Spritzbeton sind unter einer Abdeckung zu lagern und müssen zum Erreichen der erforderlichen Spritzgeschwindigkeit entsprechend abgestuft zugeführt werden.

6.3.4 Maschenfrontausbildung

6.3.4.1 Wenn Betonstahlmatten als Frontausbildung verwendet werden, müssen sie EN 10080 entsprechen.

6.3.4.2 Wenn geschweißter Maschendraht als Frontausbildung verwendet wird, muss dieser aus kaltgezogenem Stahldraht in Übereinstimmung mit EN 10079 gefertigt sein und muss nach EN 10080 zum fertigen Maschengefüge geschweißt werden.

6.3.4.3 Wenn metallischer Maschendraht galvanisiert ist, muss er EN ISO 1461 entsprechen.

6.3.4.4 Wenn geflochtener Maschendraht als Frontausbildung verwendet wird, muss dieser aus kaltgezogenen Stahldrähten gefertigt sein, und das fertige Produkt ist nach den entsprechenden Europäischen Normen zu flechten. Die Beschichtungen des Drahtes müssen mit den Mindestanforderungen von EN 10244 (allen Teilen) und EN 10245 (allen Teilen) für extrudierte organische Beschichtungen übereinstimmen.

6.3.5 Weitere Werkstoffe

6.3.5.1 Wenn geosynthetische Werkstoffe für die Herstellung einer Textilfrontausbildung verwendet werden, müssen sie mit EN 13251 übereinstimmen.

6.3.5.2 Alle natürlichen und geosynthetischen Werkstoffe müssen 6.1.2 entsprechen.

6.4 Drainagesysteme

Alle Drainagesysteme, einschließlich der Werkstoffe und Produkte, müssen mit 6.1.2 übereinstimmen.

ANMERKUNG Beispiele für Drainagesysteme sind in 8.5 und in Anhang A angegeben.

7 Grundlagen der Bemessung

7.1 Allgemeines

7.1.1 Die zufrieden stellende Leistung einer Bodennagelausführung während ihrer gesamten geplanten Lebensdauer ist von der zusammengesetzten Wechselwirkung zwischen Boden, Bewehrungen und Frontausbildung (falls zutreffend) abhängig.

ANMERKUNG Die von einem Bodennagel ausgehende Stabilisierungskraft wird passiv erzeugt.

7.1.2 Die Auslegung der Bodenvernagelungsarbeiten sollte auf der Grundlage der allgemeinen Grundsätze von EN 1990, EN 1991, EN 1997-1 und EN 1997-2 erfolgen.

ANMERKUNG Weitere Leitlinien zur Auslegung von Bodennagelsystemen sind im informativen Anhang B angegeben.

7.1.3 Wird das Verfahren auf der Grundlage von Beobachtungen angewendet, ist EN 1997-1:2004, 2.7 besonders zu beachten.

7.1.4 Die Auslegung muss die Leistungsfähigkeit der baulichen Anlagen sowohl während der einzelnen zeitlichen Phasen der Bauausführung als auch für die Entwurfslebensdauer nach Fertigstellung der Bauausführung berücksichtigen.

7.1.5 Das Bodennagelsystem muss mit den bestehenden und erwarteten Baugrundbedingungen vereinbar sein.

7.1.6 Wenn das zu verwendende Bodennagelsystem in der Konstruktion nicht festgelegt ist, müssen die Bemessungsunterlagen die besonderen Anforderungen des Projektes hervorheben. Diese Anforderungen müssen dann die endgültige Auswahlentscheidung beeinflussen.

7.1.7 Bei der Bemessung der Bodennagelbauausführung müssen alle maßgeblichen Grenzzustände nach EN 1997-1 berücksichtigt sein.

7.1.8 Die Fähigkeit der Bodennagelanlagen, erwartete Beträge von Gesamt- und Differentialsetzung, Frostaufbruch, Verformung und Bewegung auszugleichen, sollte berücksichtigt werden. Falls notwendig, sollten solche Setzungen, Verformungen und Bewegungen der Bodennagelbauausführung während und nach der Bauausführung überwacht werden (siehe Abschnitt 9).

7.1.9 Bei bedingt nachgiebigen Frontausbildungen sollte die Empfehlung des Herstellers berücksichtigt werden.

7.2 Auslegungsplanung

7.2.1 Die Auslegungsplanung sollte alle für die Bauausführung erforderlichen Informationen enthalten, von denen einige in der Vorbereitung der technischen Spezifikation Verwendung finden können.

7.2.2 Die bodenvernagelte Bauausführung sollte die folgenden Festlegungen enthalten:

- a) die Entwurfslebensdauer der Bauausführung;
- b) die geotechnische Kategorie der Bauausführung nach EN 1997-1:2004;
- c) Geometrie: Grundriss, typische Querschnitte, Höhe;
- d) Bautyp: zum Beispiel neuer Bau oder Ausbesserungsarbeit an einem bestehenden Stützbauwerk;
- e) Ausführungsphasen;
- f) zulässige Abweichungen der Bauausführung;

- g) Eignung des Baugrundes für die Mobilisierung ausreichender Kräfte innerhalb der Bodennägel;
- h) Prüfung von Opfer- und Ausführungsnägeln;
- i) die Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit; zum Beispiel zulässige Abweichung und/oder Verschiebung der Bauarbeiten und des gestützten Baugrundes;
- j) Überwachung der Abweichung und/oder Verschiebung;
- k) mögliche bestehende und zu erwartende Einschränkungen, ausgehend von den Baustellengrenzen und von den in unmittelbarer Nähe zum zu vernagelnden Bereich befindlichen Gebäuden oder Bauwerken;
- l) erdverlegte Einrichtungen innerhalb des zu vernagelnden Bereiches oder in unmittelbarer Nähe dazu;
- m) bei der Bemessung vorgegebene maßgebliche Festlegung zu Werkstoffen oder Produkten.

7.2.3 Der Bericht zur Baugrunduntersuchung muss, sofern zutreffend, folgende Informationen nach EN 1997-2 enthalten:

- a) mechanische und physikalische Eigenschaften: Festigkeitskennwerte, Stückmasse, Siebkennlinie, Durchlässigkeit, Wassergehalt, Komprimierbarkeit, Stein- und Felsgehalt;
- b) Hydrogeologie, Wasserstände, Frostwahrscheinlichkeit, wo zutreffend;
- c) chemische, elektrochemische und biologische Eigenschaften des Baugrundes und des Grundwassers;
- d) Eignung des Bodenaushubes unter den zeitlich begrenzten Bedingungen der Ausführung der Arbeiten ungestützt standfest zu sein.

7.2.4 Der Auslegungsbericht muss, sofern zutreffend, folgende Festlegungen zum Bodennagelsystem enthalten:

- a) Typ, Aufbau und Abstufungsmuster (Nagelquerschnitt, Länge, Neigung und Abstand);
- b) zulässige Auslegungsfestigkeit über einen kurzen und langen Zeitraum, Ausziehfestigkeit;
- c) Einbau von Prüf- und Opfernägeln;
- d) Sorte und Festigkeit des Einpressmittels;
- e) Entwurfslebensdauer und Korrosionsschutzsystem;
- f) Einschränkungen bezüglich der Einbauverfahren.

7.2.5 Der Auslegungsbericht muss, sofern zutreffend, folgende Festlegungen zum Frontausbildungssystem enthalten:

- a) mechanische Anforderungen;
- b) Anforderungen an die Umgebung;
- c) ästhetische Anforderungen.

7.2.6 Der Auslegungsbericht muss, sofern zutreffend, folgende Festlegungen zum Drainagesystem enthalten:

- a) Typ und Spezifikation;
- b) Bauausführungsphasen;
- c) Dauerhaftigkeit und Wartung des Drainagesystems.

7.3 Auslegungsänderungen

7.3.1 Auslegungsänderungen können entweder auf Grund unvorhersehbarer Bedingungen oder geplanter Anpassungen notwendig sein.

7.3.2 Auslegungsänderungen, die auf Grund von unvorhersehbaren Umständen, wie zum Beispiel Veränderungen in den Baugrundbedingungen oder hydraulischen Bedingungen, notwendig werden, müssen unverzüglich in Übereinstimmung mit Abschnitt 4 berichtet werden.

7.3.3 Erfordern die Bautätigkeiten eine Änderung der endgültigen Bauausführung gegenüber den Festlegungen in den Konstruktionsunterlagen, darf diese nur ausgeführt werden, nachdem die Konstruktion entsprechend überprüft und angepasst wurde.

8 Ausführung

8.1 Allgemeines

8.1.1 Die Abfolge der Bodennagelbauausführung kann die folgenden fünf Hauptverfahren enthalten:

- a) Vorarbeit;
- b) Aushub/Oberflächenvorbereitung;
- c) Nageleinbau;
- d) Einbau der Drainage;
- e) Einbau der Frontausbildung und Verbindung mit den Köpfen der Bodennägel.

ANMERKUNG Die Reihenfolge dieser Prozesse ist von der Übereinstimmung mit dem geplanten Bauablauf und von Anforderungen abhängig und kann unterschiedlich sein.

8.1.2 Unvorhergesehene Umstände, wie zum Beispiel Veränderungen der Baugrundbedingungen oder hydraulischen Bedingungen, müssen unverzüglich in Übereinstimmung mit Abschnitt 4 berichtet werden.

8.1.3 Können Werkstoffeigenschaften oder Bauprozesse durch Klimabedingungen (zum Beispiel extreme Hitze, Kälte oder starker Regen) nachteilig beeinflusst werden, muss die Durchführung besonderer Maßnahmen zur Abschwächung der schädigenden Auswirkungen Berücksichtigung finden.

8.2 Vorarbeiten

Die folgenden Vorarbeiten können erforderlich sein:

- a) Vorbereitung der bestehenden Vegetation und Frontausbildung;
- b) Absteckung der Lage der Böschung;
- c) Bau von sicheren und geeigneten Zugangssystemen (zum Beispiel: Gerüstplatten, Aushubstufen, Zugang mittels eines Kranes);
- d) Einbau einer Drainage zur Regulierung des Oberflächenabflusses und des Grundwassers, um die Ausführung der Bodenvernagelung zu ermöglichen;
- e) Einbau und Prüfung der Nägel zur Verifizierung der Konstruktionskennwerte und -annahmen (siehe Abschnitt 9);
- f) Einbau geotechnischer Überwachungsgeräte (siehe Abschnitt 9) und erforderliche Verifizierung zur Kontrolle der Bodenvernagelungsarbeiten und deren Auswirkungen auf die umliegenden Bauwerke und Einrichtungen.

8.3 Aushub/Frontausbildungsvorbereitung

8.3.1 Die Standfestigkeit des Aushubes/der Frontausbildungsvorbereitung und jeglichen angrenzenden oder in unmittelbarer Nähe befindlichen Landes, Eigentums oder der Einrichtungen müssen vor Beginn der Bodenvernagelungsarbeiten untersucht werden.

8.3.2 Der Aushub kann einen Großaushub, gefolgt von örtlichen Nachbearbeitungen der Frontausbildung (siehe Anhang A) enthalten.

8.3.3 Einschränkungen können bei fortgeschrittenen Stufen des Aushubes gemacht werden.

8.3.4 Oberflächige Böden nahe der Baugrundoberfläche sind oft künstliche Böden und von geringer Qualität und können besondere Maßnahmen, die ihrem Einbruch entgegenwirken, erforderlich machen.

8.3.5 Die Standzeit der Frontausbildung sollte verifiziert werden. Davon ausgehend sollte eine Schätzung der maximalen Länge der Frontausbildung, die vor dem Bodennageleinbau zugeschnitten werden kann, vorgenommen werden (siehe Abschnitte 5 und 9).

8.3.6 Der Zeitabstand zwischen dem örtlichen Zuschnitt der Frontausbildung und dem Bodennageleinbau sowie dem Bau der Frontausbildung sollte so kurz wie möglich gehalten werden, um dem Risiko eines Einbruches der Frontausbildung entgegenzuwirken.

8.3.7 Wenn die Standzeiten kurz sind und die Standfestigkeit der Frontausbildung nicht aufrechterhalten werden kann, sollten ein Aushub in kleinen Abschnitten und die Verwendung von Bermen zur vorübergehenden Unterstützung in Betracht gezogen werden.

8.3.8 Zulässige Aushubabweichungen, wie Böschungswinkel, zeitlich begrenzte Stufenhöhen und die vorgeschlagene Grenzlinie des Aushubes müssen vor Beginn des Aushubes vereinbart werden.

8.3.9 Aushubgrenzen müssen vor Beginn des Aushubes vereinbart werden.

8.3.10 Um sicherzustellen, dass die vereinbarten Aushubgrenzen nicht überschritten werden, müssen vor Beginn des Aushubes Maßnahmen zur Überwachung festgelegt werden, die die erforderlichen Handlungen festlegen.

8.3.11 Großaushub kann, abhängig von den Anforderungen an die Standfestigkeit und den Versatz, vor dem für den Bodennageleinbau und den Bau der Frontausbildung erforderlichen Stufenausbau und der örtlichen Oberflächennachbearbeitung, erfolgen.

8.3.12 Wenn die Standfestigkeit der Schnittfläche der Frontausbildung nicht beurteilt wurde, muss sie vor dem vollständigen Aushub durch Probegruben und/oder Beobachtung des anfänglichen Großaushubes ermittelt werden.

8.3.13 Folgt der Bodennageleinbau oder der Bau der Frontausbildung dem Zuschnitt der Frontausbildung nicht innerhalb der vorausberechneten Standzeit, muss zur Aufrechterhaltung der Standfestigkeit eine örtliche Hinterfüllung der Frontausbildung in Betracht gezogen werden.

8.3.14 Bei einem tatsächlichen Einbruch der Frontausbildung müssen eine Untersuchung durchgeführt und Maßnahmen getroffen werden, um ein erneutes Auftreten zu verhindern.

8.3.15 Auf jeder Stufe des Aushubes sollten die Bodenart und die Höhe jeglichen auftretenden Grundwassers beobachtet und mit den in der Baugrunduntersuchung vorausberechneten Werten verglichen werden. Werden Unterschiede beobachtet, müssen diese berichtet und alle notwendigen Maßnahmen getroffen werden.

8.4 Nageleinbau

8.4.1 Allgemeines

8.4.1.1 Es gibt zwei grundlegende Verfahren des Bodennageleinbaus; direkter Einbau (Rammen) und Bohren und Einpressen. Direkter Einbau kann durch schlagende, einrüttelnde oder ballistischen Verfahren vorgenommen werden. Bohr- und Einpressverfahren können entweder Schwerkraftverfahren oder Druckeinpressverfahren umfassen.

8.4.1.2 Das Bodennageleinbauverfahren muss für die jeweiligen Baugrundbedingungen geeignet sein.

8.4.1.3 Bodennagelbauteile müssen während des Transports, der Lagerung und des Einbaus mit Sorgfalt gehandhabt werden. Um die Unversehrtheit der Bauteile vor dem Einbau sicherzustellen, muss eine Überprüfung vorgenommen werden, wobei besondere Aufmerksamkeit auf die Beschichtungen und die Korrosionsschutzteile zu richten ist.

8.4.1.4 Der Nageleinbau muss geregelt, d. h. mit einer möglichst geringen Störung und nachteiligen Beeinflussung der Standfestigkeit des Baugrundes oder vorher eingebauter Nägel, ausgeführt werden.

8.4.1.5 Der Nageleinbau muss innerhalb der von der Konstruktion geforderten zulässigen Abweichungen und in der erforderlichen Abfolge ausgeführt werden. Allgemein erreichbare, zulässige Abweichungen für die Bauausführung sind im Anhang A angegeben.

8.4.1.6 Nägel müssen so eingebaut werden, dass die Bewehrung eine ausreichende Strecke über die Front der Böschung hinausragt, die die Verbindung zum Frontausbildungssystem nach den Konstruktionsanforderungen ermöglicht. Alle Sicherungsmuttern, Platten und andere Verbindungselemente müssen sicher befestigt werden.

8.4.1.7 Werden Verbindungsstücke verwendet, um die Teile der Bewehrung miteinander zu verbinden, müssen Vorsichtsmaßnahmen getroffen werden, um eine ordnungsgemäße und dauerhafte Verbindung sicherzustellen.

8.4.1.8 Treten Hindernisse auf (oder unerwartete Baugrundbedingungen), die den vollständigen Einbau des Nagels verhindern, oder die eine Abweichung von der Entwurfsordnung bewirken, dann muss das Einbauverfahren nochmals überprüft werden und die örtliche Versetzung des Nagels in Betracht gezogen werden. Nägel, die bereits teilweise oder vollständig eingebaut sind, dürfen nicht entfernt werden.

8.4.2 Einbauverfahren durch Rammen

8.4.2.1 Nägel können unter Anwendung von Hubbewegungen, Schraubbewegungen, schlagenden, einrüttelnden oder ballistischen, den Boden verdrängenden Verfahren in den Baugrund gerammt werden. Üblicherweise befindet sich die Bewehrung in direktem Kontakt mit dem Baugrund.

8.4.2.2 Um ein Verbiegen während des Einbaus zu vermeiden, muss die Bewehrung, unter Berücksichtigung ihrer Länge, der Beschaffenheit und des Zustandes der Verdichtung des Bodens und der Kraft der verwendeten Einrammwerkzeuge, ausreichend starr sein.

ANMERKUNG Die Bewehrungen können während des Einrammens geführt werden.

8.4.3 Einbauverfahren durch Bohren

8.4.3.1 Allgemeines

8.4.3.1.1 Nägel können in den Baugrund unter Anwendung von Drehbohr- oder Drehschlagbohrverfahren zur Abtragung des Baugrundes eingebracht werden.

8.4.3.1.2 Das angewendete Bohrverfahren und die Bohrgeschwindigkeit müssen sicherstellen, dass der in der Konstruktion festgelegte Nennbohrlochdurchmesser über die gesamte Länge des Nagels erreicht wird.

8.4.3.1.3 Das Bohrloch muss bis zu einer Tiefe gebohrt werden, die ausreicht, den Einbau der Bewehrung in ihrer Bemessungslänge sicherzustellen.

8.4.3.1.4 Falls der Nagel über die Einpressbindung Last zwischen dem Baugrund und der Bewehrung überträgt, können, falls die Bedeckung nicht auf andere Weise sichergestellt wird, Abstandhalter angebracht werden, die sicherstellen, dass sich der kleinste, von der Konstruktion geforderte Ringraum für das Einpressmittel um die Bewehrung herum bildet.

8.4.3.1.5 Falls das Einpressmittel einen Teil des Korrosionsschutzsystems des Nagels darstellt, müssen Abstandhalter angebracht werden, die sicherstellen, dass die in der Konstruktion festgelegte kleinste Bedeckung des Nagels durch das Einpressmittel erreicht wird.

8.4.3.2 Unverrohrtes Lochbohren

8.4.3.2.1 Unverrohrtes Bohren kann in tragfähigen Böden oder in nicht standfestem Baugrund mit geeigneten Stützmedien angewendet werden.

ANMERKUNG 1 Bei tragfähigen Böden werden üblicherweise Luftspültechniken mit Techniken des Drehbohrens, Drehschlagbohrens oder Imloch-Hammerbohrens angewendet.

ANMERKUNG 2 Bei bestimmten Baugrundbedingungen kann Wasser, auf Grund seiner höheren Dichte, in seiner Leistung das Bohrloch zu stützen und mit seinem erhöhten Wirkungsgrad bei der Hebung von Bohraussatz bei geringeren Durchflussraten, als Spülmedium geeigneter sein. Wasser sollte nicht verwendet werden, wenn es das Risiko der Bodenkörperinstabilität erhöht und die Bindungsleistung zwischen Baugrund und Nagel verringert.

ANMERKUNG 3 Ist eine dichte Bohrflüssigkeit zum Stützen des Loches in weniger festen Böden erforderlich, wird üblicherweise Einpresszement als Ausspülmedium und auch als Lastübertragungsmedium verwendet. Verbunden mit seiner Verwendung sind Forderungen nach einer wirksamen Wiedergewinnung der Ausspülrückflüsse, wirksamer Entfernung oder teilweiser Entfernung des Bohraussatzes aus dem Einpressmittlerückfluss, Einsatz einer Umwälzpumpanlage und Entsorgung des austretenden Einpressmittels und des mit Einpressmittel verunreinigten Aussatzes.

8.4.3.2.2 Tritt eine Situation auf, bei der das Ausspülmedium nicht zurückfließt, sollte das Bohrstück oder der Imloch-Bohrhammer bis zur Wiedergewinnung des Ausspülrückflusses zurückgezogen werden.

8.4.3.2.3 Die Bewehrung oder der Korrosionsschutzkanal sollte mit Sorgfalt in das vorgebohrte Loch eingeführt werden, um sicherzustellen, dass sie nicht an den Seiten des Loches entlangschrammen und vom Baugrund verunreinigt werden.

8.4.3.2.4 Es wird empfohlen, das Bodennagelsystem unmittelbar nach dem Bohren in die Bohrlöcher einzubauen.

8.4.3.3 Verrohrtes Lochbohren und Bohren mit Hohlbohrschnecken

8.4.3.3.1 Verrohrtes Lochbohren und Bohren mit Hohlbohrschnecken sind Verfahren, die bei Baugrundbedingungen angewendet werden sollten, bei denen das Bohrloch nicht über seine gesamte Länge bis zum Einpressen offen stehen bleibt.

8.4.3.3.2 Wo das Bohrloch auf einem Teil seiner Länge offen steht, bevor das Einpressen erfolgt, kann über die Verrohrung hinaus unverrohrtes Lochbohren bis zum Grund des Loches fortgesetzt werden.

8.4.3.3.3 Bleibt der Ausspülrückfluss aus, sollte die Bohrausrüstung zur erneuten Ingangsetzung der Ausspülung so in der Verrohrung zurückgezogen werden, dass die Ausspülung nicht in den Bodenkörper eindringt.

8.4.3.3.4 Ist der Baugrund nicht tragfähig, muss das Einpressen in das Bohrloch vor der Entfernung der Verrohrung oder Schnecken erfolgen. Wird eine Bewehrung in ein frisch eingepresstes Loch gedrückt, sollten Maßnahmen erfolgen, die sicherstellen, dass sie mittig in das Loch eintritt und keine Verunreinigungen eingebracht werden.

8.4.3.4 Selbstbohrende Hohlstab-Bodennägel

8.4.3.4.1 Bei dieser Technik sind die Bewehrungen an einer Bohrkronen angebracht und werden in den Baugrund gebohrt. Hohlstab-Bodennägel werden üblicherweise mittels Drehschlagbohren eingebracht.

ANMERKUNG Der Einbau von Bewehrungen mittels Drehbohren und gleichzeitigem Ausspülen mit Einpressmittel wird mitunter als Verfahren mit selbstbohrenden Hohlstab-Bodennägeln oder gleichzeitigiges Bohren und Einpressen bezeichnet.

8.4.3.4.2 Die Bohrgeschwindigkeit, der Einpressdruck und die Durchflussgeschwindigkeit sollten den Bedingungen des Baugrundes angepasst werden, um den richtigen Bohrlochdurchmesser sicherzustellen.

ANMERKUNG Bei einigen Baugrundbedingungen kann das gleichzeitige Bohren und Einpressen zu einem im Vergleich zur Größe der Bohrkronen vergrößerten Einpressmittelraum führen.

8.4.3.4.3 Wird das Verfahren mit selbstbohrenden Hohlstab-Bodennägeln in nicht tragfähigem Baugrund angewendet, ist ein geeignetes Stützmedium zu verwenden.

ANMERKUNG Wasser sollte nicht verwendet werden, wenn es das Risiko der Bodenkörperinstabilität erhöht und die Bindungsleistung zwischen Baugrund und Nagel verringert.

8.4.3.4.4 Ein Ausspülrückfluss sollte beim Bohren jederzeit, wenn der Bohrer vordringt, beobachtet werden. Bleibt der Ausspülrückfluss aus, sollte die Bohrgarnitur zurückgezogen werden, bis der Rückfluss wieder einsetzt.

8.4.3.4.5 Wird Baueinpressmörtel nicht als Stützmedium verwendet, muss das Einpressmittel eingebracht werden, wenn die endgültige Bohrlochtiefe erreicht ist und es muss optisch zu beobachten sein, dass das Stützmedium durch das Einpressmittel ersetzt wird.

8.4.4 Einpressverfahren

8.4.4.1 Allgemeines

8.4.4.1.1 Bei Anwendung eines Rammnagelverfahrens kann das Einpressmittel während oder nach Beendigung des Einrammens unter Druck über die Bewehrung eingepresst werden, um den Auszieh Widerstand des Nagels zu erhöhen.

8.4.4.1.2 Bei Anwendung eines gebohrten Nagelverfahrens kann das Einpressmittel während des Bohrens über die Bewehrung und nach Beendigung des Bohrens oder nach dem Einbau der Bewehrung über ein Unterwasserbetonierrohr in das Loch eingebracht werden. Das Einpressmittel kann mit Druck eingebracht werden, um die Ausziehfestigkeit des Nagels zu erhöhen.

8.4.4.1.3 Bei Anwendung eines selbstbohrenden Hohlstab-Nagelsystems kann das Einpressmittel entweder durch gleichzeitiges Bohren und Einpressen oder durch nachfolgendes Einpressen unmittelbar bei Erreichen der Bohrlochtiefe eingebracht werden.

8.4.4.1.4 Sämtliche Bauausführungsverfahren des Einpressens sollten sicherstellen, dass sie nicht irgendwelche Merkmale, wie zum Beispiel Luftporen, verursachen, die die Leistung und Haltbarkeit des entworfenen Nagelsystems herabsetzen.

8.4.4.1.5 Das Einpressen sollte ohne Unterbrechung fortgesetzt werden, bis am oberen Ende der Bohrung eine glatte, unverdünnte, nicht verunreinigte Mischung austritt. Tritt mit dem Einpressmittel Bohraussatz aus, sollte die verunreinigte Mischung entfernt und gereinigt werden.

8.4.4.1.6 Das Mischen des Einpressmittels sollte in einem Mischer erfolgen, der in der Lage ist, ein Einpressmittel von gleichmäßiger Konsistenz mit den in der Konstruktion geforderten Eigenschaften bezüglich der Bearbeitbarkeit und Festigkeit herzustellen. Das Einpressmittel sollte sofort nach dem Mischen verarbeitet werden, sofern es keine Möglichkeit des Rührens der Mischung gibt.

8.4.4.1.7 Mengenzuteilung kann nach Masse oder Volumen erfolgen.

8.4.4.2 Schwerkrafteinpressen

8.4.4.2.1 Findet das Einpressen eines offenen Loches über eine Kontraktröhre statt, kann der Druck des Einpressmittels in der Bohrung den Schwerkraftdruck nicht übersteigen.

8.4.4.2.2 Schwerkrafteinpressen sollte unter Verwendung einer Kontraktröhre mit einem Innendurchmesser von mindestens 15 mm erfolgen, die vor Beginn des Einpressvorgangs bis zum Grund des Bohrloches vorgestoßen wird.

8.4.4.3 Druckeinpressen

8.4.4.3.1 Das Druckeinpressen kann die Ausziehfestigkeit des Bodennagels erhöhen. Das wirksamste Verfahren des Druckeinpressens wird üblicherweise mithilfe von Versuchsverfahren (Einpressdruck und Injektionsvolumen) durchgeführt.

8.4.4.3.2 Das Druckeinpressen von eingerammten Nägeln kann durch die Verbindung eines Einpressrohres mit dem Kopf der Bewehrung und das Einbringen des Einpressmittels nach Beendigung des Rammens erfolgen.

8.4.4.3.3 Nach Abschluss des Schwerkrafteinpressens durch eine Verrohrung oder Stopfschnecke kann ein Einpressrohr mit dem Rohrgestänge oder dem Schneckenkopf verbunden und Druck auf das Einpressmittel innerhalb des Bohrloches, während des Zurückziehens des Rohrgestänges/der Schnecke, ausgeübt werden.

8.4.4.3.4 Bei Anwendung von selbstbohrenden Hohlstab-Bodennägeln wird das Einpress-Ausspülmittel, das üblicherweise ein Zementeinpressmittel ist, in die Bewehrung über eine Einpressdrehscheibe, die in das Bohrgestell eingepasst ist, eingebracht. Der Einpressinjektionsdruck und die Durchflussgeschwindigkeit sollten während der Bohrung abhängig vom Vermögen des Einpressmittels, in den Boden einzudringen, der durch das Bohrverfahren gelockert wurde und der um die Bewehrung herum innerhalb des Ringraumes aufgenommen wurde, angepasst werden. Das Einpressausspülen sollte mit einer gleich bleibenden Geschwindigkeit erfolgen und das Ausspülen sollte jedes Mal wieder durchgeführt werden, wenn neue Abschnitte der Bewehrung vor dem Vordringen des Bohrers hinzugefügt werden.

8.4.4.3.5 Bei einigen Arten von gebohrten und eingepressten Nägeln ist der Einbau eines Nachverpressrohres zulässig, das ein einstufiges Einpressen oder mehrstufiges Hochdrucknachverpressen des Bodennagels ermöglicht, um die Ausziehfestigkeit des Nagels zu erhöhen.

8.4.5 Weitere Nageleinbauverfahren

8.4.5.1 Wird ein anderes Bodenvernagelungsverfahren angewendet, so muss das in Übereinstimmung mit den Konstruktionsvorschriften erfolgen.

8.4.5.2 Zur Verifizierung, dass das Verfahren die durch die Konstruktion festgelegten Anforderungen an die Leistungsfähigkeit erfüllt, sind besondere Prüfungen mit festgelegten Leistungskriterien durchzuführen.

8.5 Einbau von Drainagesystemen

8.5.1 Allgemeines

8.5.1.1 Die wirksame Regulierung von Oberflächen- und Grundwasser ist während der Bauausführung und Betriebsdauer einer Bodennagelbauausführung unerlässlich. Entwässerungsmaßnahmen müssen deshalb auf einem hohen Niveau ausgeführt werden, um die Bodennagelarbeiten vor den Schadenseinwirkungen des Oberflächen- und Grundwassers, sowohl während der Bauausführung als auch der geplanten Lebensdauer, zu bewahren.

8.5.1.2 Ist die Grundwasser- oder die Oberflächenwasserströmung größer als erwartet, muss die Konstruktion nochmals überprüft werden.

8.5.1.3 Die Auswirkungen des Oberflächenwassers können durch eine Vielzahl verschiedener Maßnahmen, wie zum Beispiel Dichtungsgräben, Rinnen, Deiche, Sümpfe und Verkleidungen kontrolliert werden. Maßnahmen zur Regulierung des Oberflächenwassers sollten im Allgemeinen vor Beginn des Aushubes oder der Entfernung der Vegetation erfolgen.

8.5.1.4 Die Wirkungen des Grundwassers können durch unterirdische Entwässerungsmaßnahmen, wie zum Beispiel nach oben geneigte Brunnenfilterdräns und Grabendräns oder durch den Bau eines Entwässerungsteppichs unmittelbar hinter der Frontausbildung, oft in Verbindung mit Entwässerungslöchern, kontrolliert werden.

ANMERKUNG Bekanntermaßen bestehende oder während der Ausführung der Bodennagelbauausführung zum Vorschein kommende Wassertaschen oder schwebende Wasserspiegel werden üblicherweise durch das Tiefendrainsystem reguliert.

8.5.1.5 Werden ungünstige hydraulische Bedingungen vorgefunden, müssen erforderliche Maßnahmen zur Kontrolle des Wassers während der Bodennagelbauausführung und zur Vermeidung von Erosion an den ausgehobenen Fronten im Vorfeld des Aushubes umgesetzt und vereinbart werden.

8.5.1.6 Oberflächen- und Grundwasser aus den Dräns sollte zu Sammelpunkten geleitet werden, wo es sicher und in Übereinstimmung mit Umweltschutzbestimmungen abgelassen werden kann.

8.5.2 Oberflächenentwässerung

8.5.2.1 Werden Oberflächendrains eingesetzt, müssen sie über eine ausreichende Transportfähigkeit für das Sammeln und Regulieren der Regenwasserflüsse eines Unwetters, mit einer der geplanten Ausführungsdauer der Bauarbeiten entsprechenden Wiederkehrhäufigkeit, verfügen.

8.5.2.2 Werden Verkleidungen eingesetzt, um Oberflächenwasser zu sammeln, sollte der Verbindung und Überlappung der Verkleidungsteile besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, um ein Eintreten von Wasser zwischen der Verkleidung in den Baugrund zu verhindern. Falls notwendig, sollte sie festgesteckt oder beschwert werden, um sie in direkten Kontakt mit der Baugrundoberfläche zu halten und ein Abheben durch Windeinwirkung zu verhindern. Die Verkleidung sollte regelmäßig auf Beschädigungen untersucht und falls notwendig, repariert werden, um die Gebrauchstauglichkeit zu erhalten.

8.5.2.3 Werden Entwässerungsrinnen gebaut, sollten sie bis zum Sammelpunkt stetig abfallen und müssen Stauungen des Wassers verhindern. Beim Sammeln des Oberflächenwassers von einer Böschung sollten sie genau geplant sein, dass sichergestellt ist, dass das Wasser in die Rinne hineinfließt und nicht unter der Rinne hindurch in den Baugrund gelangt. Wo sie direkt auf die Baugrundoberfläche gebaut werden, sollte der Baugrund gut verdichtet sein. Konstruktionsverbindungen sollten wasserdicht sein, um das Eindringen von Wasser und die Erosion des Bodens unterhalb der Rinne zu verhindern. Um Beschädigungen der Rinne durch Differentialbewegung oder thermische Bewegung zu verhindern, sollten Konstruktionseinzelheiten einbezogen werden.

8.5.2.4 Grabendrains sollten ausgehoben werden, um das stetige Fallen der Sohle bis zum Sammelpunkt sicherzustellen und eine Versumpfung des Wassers zu verhindern. Der Aushub sollte in kontrollierten Längen erfolgen, um die Dauer, über die der Graben offen steht, möglichst gering zu halten und wo notwendig, sollte eine Grabensicherung zum Einsatz kommen. Findet der Aushub unter Bedingungen von Nässe statt, sollte mit dem Aushub am untersten Punkt begonnen werden, um ihn von dort aufwärts fortzusetzen.

8.5.2.5 Vor dem Verfüllen des Grabens können die Seiten und der Grund des Grabens mit einer geeigneten Geotextilie ausgelegt werden, um zu verhindern, dass Feinstoffe den Drän auf lange Sicht verstopfen.

8.5.2.6 Ist ein perforiertes Rohr oder ein Brunnenfilter auf den Grund des Grabens einzulassen, sollten sie auf Beschädigung hin untersucht und sämtliche Verbindungen kontrolliert werden, um die Funktion des Dräns als durchgehenden Kanal sicherzustellen.

8.5.2.7 Nach Abschluss der oben genannten Arbeiten sollte der Graben unter Verwendung eines körnigen Filtermaterials, welches mit den Konstruktionsanforderungen hinsichtlich Kornabstufung und Haltbarkeit übereinstimmt, erfüllt werden. Proben des Verfüllmaterials müssen auf Übereinstimmung mit den Konstruktionsvorschriften geprüft werden.

8.5.3 Entwässerung der Frontausbildung

8.5.3.1 Falls angewendet, besteht die Filterschicht hinter der Front üblicherweise aus Streifen von Entwässerungsfiltren, die auf- und abwärts oder diagonal über die Front verlaufen.

8.5.3.2 Falls durch die Konstruktion erforderlich, sollte der Entwässerungsfilter keine nachteilige Wirkung auf die Qualität des Betons der Frontausbildung oder die Reibung zwischen Baugrund und Frontausbildung haben.

8.5.3.3 Besteht das Risiko, dass sich hinter der Frontausbildung Wasser ansammelt, sind Entwässerungsrohre so einzubauen, dass ein freier Abfluss des Wassers durch diese ermöglicht wird. Die Entwässerungsrohre müssen über einen Innendurchmesser verfügen, mit dem ihre Reinigung und Überwachung möglich ist.

ANMERKUNG Wenn sie in direktem Kontakt mit dem Boden stehen, sollten sie mit einem geotextilen Filtergewebe oder Ähnlichem ausgelegt oder eingehüllt sein. Werden sie vor dem Bau einer Frontausbildung aus Spritzbeton eingelassen, sollten sie in ihrer Position sicher befestigt und geschützt werden, um eine Blockierung oder Beschädigung während des Spritzens zu verhindern. Wenn sie in vorgebohrten Löchern durch eine Frontausbildung befestigt werden, sollte der Ringraum zwischen dem Entwässerungsrohr und der Frontausbildung so abgedichtet sein, dass sichergestellt ist, dass das Sickerwasser durch das Entwässerungsrohr abläuft.

8.5.3.4 Die Verbindung zwischen dem Drainagesystem der Frontausbildung und den Entwässerungsrohren muss vor Anbringen der Frontausbildung untersucht und geprüft werden.

8.5.4 Unterirdische Drainage

8.5.4.1 Wenn unterirdische Drainage Anwendung findet, sollte sie mit einem Gefälle von mindestens 5 % in Richtung der Frontausbildung der Bauausführung eingebaut werden.

8.5.4.2 Die Lage, der Durchmesser, die Länge und die Neigung sind im Konstruktionsentwurf festzulegen.

8.5.4.3 Um sicherzustellen, dass die Bodenkorngrößen und die Filtereigenschaften miteinander vereinbar sind, müssen die Eigenschaften des Filters im Konstruktionsentwurf festgelegt werden.

8.5.4.4 Das Einbauverfahren von Tiefendrains muss sicherstellen, dass das Rohr nicht beschädigt und kein Boden über die Filteroberfläche geschmiert und so dessen Wirksamkeit herabgesetzt wird. Verbindungen zwischen den Rohrabschnitten müssen sicher befestigt sein.

8.5.4.5 An Stellen, an denen der unterirdische Drän auf die Frontausbildung oder die Oberfläche der Bauarbeiten trifft, muss eine Abdichtung zwischen dem Filter und dem umgebenden Baugrund angebracht werden, die sicherstellt, dass das Wasser durch das Rohr austritt und nicht den Boden in diesem Bereich abträgt. Diese Abdichtung kann aus einer Mörtel-, Betonmischung oder anderen geeigneten Mischung bestehen.

8.5.4.6 Wird das Austreten von Wasser, feinen Teilchen oder sonstigen Stoffen aus den Tiefendrains beobachtet, so ist das aufzuzeichnen und, falls notwendig, zu untersuchen.

8.5.5 Drainagesysteme

Falls die Bodenvernagelung unterhalb des Grundwasserspiegels ausgeführt wird oder wenn es auf Grund von unerwarteten Wasserflüssen zu Schwierigkeiten bei der Bauausführung kommt, muss ein Drainagesystem eingesetzt werden.

8.6 Einbau der Frontausbildung und Verbindung mit Nagelköpfen

8.6.1 Starre Frontausbildung

8.6.1.1 Eine Einzelschicht aus Spritzbeton ohne Stahlmaschengitter kann aufgebracht werden, wenn sie lediglich als Schutz vor Erosion dienen soll.

8.6.1.2 Wenn Stahlmaschengitter und Spritzbeton angewendet werden, darf das Stahlmaschengitter während des Spritzens keine Poren entstehen lassen. Beim Spritzen muss den Verbindungen zwischen jedem Abschnitt, Prüfungen des Spritzbetons und dem Schutz der Entwässerungslöcher besondere Beachtung entgegengebracht werden. Treten Probleme mit der Standfestigkeit der Masse oder örtlich begrenzter Standfestigkeit auf, gibt es folgende mögliche Lösungen:

- a) Bauausführung mit wechselnden Schlitzten;
- b) Einbau von Nägeln vor den Ausführungen der Erdarbeiten;
- c) Aufspritzen einer dünnen Schutzschicht aus Beton unmittelbar nach den Erdarbeiten (vermeidet Oberflächeninstabilität und Bewitterungsauswirkungen auf den Baugrund).

8.6.1.3 Das Aufbringen von Ortbeton darf in Übereinstimmung mit den Konstruktionsanforderungen oder den Anforderungen des Systems angewendet werden. Der Beton muss EN 13670 entsprechen.

8.6.1.4 Vorgefertigte Frontausbildungsteile dürfen zusätzlich zu Spritzbeton an Stellen mit einer erheblichen Lastübertragung (z. B. Nagelköpfe) verwendet werden.

8.6.1.5 Die Verbindung der Frontausbildung und der Nägel zu der Oberfläche der Böschung sollte dieselbe Anforderung bezüglich der Beständigkeit erfüllen, wie das übrige Bodenvernagelungssystem.

8.6.2 Bedingt nachgiebige Frontausbildung

8.6.2.1 Frontausbildungen, wie zum Beispiel Stahlmaschengitter, ein geeignetes geosynthetisches Netz oder Stahlgeflecht, müssen nach den Empfehlungen des Herstellers eingebaut werden und den Konstruktionsanforderungen entsprechen.

8.6.2.2 Die Verbindung zur Oberfläche der Böschung muss nach den Anforderungen des Systems erfolgen. Die Verbindung der bedingt nachgiebigen Frontausbildung zu den Nägeln ist durch ein geeignetes System in Übereinstimmung mit den Konstruktionsanforderungen herzustellen.

8.6.2.3 Die Verbindung der Frontausbildung und der Bodennägel zu der Oberfläche der Böschung sollte dieselbe Anforderung bezüglich der Beständigkeit erfüllen, wie der Bodennagel des Bodenvernagelungssystems.

8.6.3 Weiche Frontausbildung

8.6.3.1 Eine weiche Frontausbildung aus einem Leichtmetallmaschengitter oder Gitter mit einer geosynthetischen Matte muss in Übereinstimmung mit den Systemanforderungen ausgebracht und befestigt werden.

ANMERKUNG Falls festgelegt, kann ein unterliegendes Feinmaschennetz oder Geogitter als Erosionsschutz eingebaut werden. Dabei kann es sich um einen biologisch abbaubaren Geokunststoff für eine zeitlich begrenzte Erosionsregulierung handeln, der durch die Vegetationsdecke ersetzt werden soll.

8.6.3.2 Das festgelegte weiche Frontausbildungssystem ist in Übereinstimmung mit den Systemanforderungen anzuordnen.

8.6.3.3 Vegetation der Böschung: klimatische und örtliche Bedingungen, wie zum Beispiel Lage, Gefälle, Höhe, Menge und Häufigkeit von Niederschlägen können die Auswahl eines geeigneten Saatsortiments und Begrünungsverfahrens (z. B. Hydroansaat, Geokunststoffe mit Sameneinlage) beeinflussen.

8.6.3.4 Die Notwendigkeit einer besonderen Vegetationsdecke und die Notwendigkeit künstlicher Bewässerung sind sowohl bei der Bauausführung als auch bei der geplanten Lebensdauer zu berücksichtigen.

8.6.3.5 Die Verbindung zur Oberfläche der Böschung muss den Konstruktionsfestlegungen entsprechen.

8.6.3.6 Um eine gute Verbindung zwischen der Frontausbildung, den Bodennägeln und der Böschung sicherzustellen, sollten geeignete Bodennagelkopfplatten, Hakenplatten oder Systembefestigungen verwendet werden.

8.6.3.7 An den Rändern der Frontausbildung, die nicht mit Bodennägeln bewehrt sind, kann ein Vorspannen der Verbindungsstücke zu angemessen befestigten Ankern erforderlich sein.

8.6.3.8 Die Verbindung der Frontausbildung und der Nägel zu der Oberfläche der Böschung sollte dieselbe Anforderung bezüglich der Beständigkeit erfüllen, wie das übrige Bodenvernagelungssystem.

8.6.4 Keine Änderungen an der vorhandenen Oberfläche

8.6.4.1 Die Bodenvernagelungsarbeiten können ohne Änderungen an der vorhandenen Oberfläche vorgenommen werden.

8.6.4.2 Die vorhandene niedrige Vegetation bestehende Anlagen müssen erhalten bleiben.

8.6.4.3 Wenn Bäume entfernt werden müssen, ist der Wurzelballen zu erhalten.

9 Bauaufsicht, Prüfung und Überwachung

9.1 Allgemeines

9.1.1 Bauaufsicht, Überwachung und Prüfungen müssen von qualifizierten und erfahrenen Personen ausgeführt werden und mit EN 1997-1, den Festlegungen auf der Grundlage der Konstruktionsanforderungen und weiteren festgelegten Anforderungen übereinstimmen.

9.1.2 Alle Abweichungen von der erwarteten Situation oder den Baugrundbedingungen oder alle Fälle von Nicht-Übereinstimmung müssen unverzüglich, wie in Abschnitt 4 festgelegt, berichtet werden.

9.1.3 Alle notwendigen, die Bauarbeiten betreffenden Informationen sind aufzuzeichnen (siehe Abschnitt 10).

9.1.4 Eine Bewertung der Ergebnisse der Prüfungen der Nägel muss vor Beginn oder Fortführung des Nageleinbaus erfolgen.

9.2 Bauaufsicht

9.2.1 Der Grad der Beaufsichtigung (Art, Ausmaß, Genauigkeit, Überwachung und Prüfung) muss den Inhalt dieses Abschnitts berücksichtigen und vor Beginn der Arbeiten eindeutig erstellt und festgelegt werden.

9.2.2 Aufzeichnungen über die Bauausführungen müssen in Übereinstimmung mit Abschnitt 10 erfolgen.

9.2.3 Besondere Qualitätskontrollüberprüfungen (durchzuführen entsprechend der technischen Spezifikation) können Folgendes enthalten:

- a) Sichtprüfung des ausgehobenen Materials, um zu bestätigen, dass es mit den in der Konstruktion berücksichtigten Baugrundbedingungen übereinstimmt;
- b) Sichtprüfung des Bohraussatzes um zu bestätigen, dass er mit den in der Konstruktion berücksichtigten Baugrundbedingungen übereinstimmt;

- c) Beurteilung der Übereinstimmung des Baugrundes (Art, Dicke, Bruchzonen usw.) und dessen hydrogeologischer Beschaffenheit (Wasserquellen, Sickerungen oder Schlamm usw.) mit den der Konstruktion zugrunde gelegten geotechnischen Angaben;
- d) Überwachung der Dauer der auszuführenden Arbeiten;
- e) Sicherstellung, dass die größte Aushubtiefe nicht überschritten wird;
- f) Mindestzeitabstand zwischen den aufeinander folgenden Aushubphasen, um eine ausreichende Festigkeit des Nageleinpressmittels zu erreichen;
- g) Ausrichtung der Nägel, Bohrlochdurchmesser, Abstände und Länge;
- h) das Bohrloch ist sauber und nicht eingebrochen (falls anwendbar);
- i) die Unversehrtheit des Korrosionsschutzsystems;
- j) wenn vorhanden, Einpresstechnik, Einbau von Bewehrung, Maschengitter und Spritzbeton oder Geotextilien/Bepflanzung;
- k) falls gefordert, Einbau von Drainagesystem(en); es ist wesentlich, dass die hydraulische Kontinuität der vertikalen Dräns sichergestellt ist, wenn sie stufenweise eingebaut wurden;
- l) Anordnung der Kopfplatte, wobei unannehmbare Abweichungen der Anordnung durch die Verwendung von konischen Dichtungsringen unter der Mutter zu vermeiden sind;
- m) Verbindung zwischen Bewehrung und Frontausbildung;
- n) Verifizierung, dass der vor Ort gelieferte Werkstoff den Konstruktionsanforderungen entspricht;
- o) Funktion von Zentriereinrichtungen oder Abstandhaltern;
- p) Qualität des Einpressmittels.

9.3 Prüfung

9.3.1 Die Prüfung während des Aushubes kann in drei Prüfungskategorien unterteilt werden:

- a) Bodennagellastprüfungen zur Verifizierung des Grenzausziehwiderstandes und des Kriechverhaltens der Bodennägel;
- b) Werkstoffprüfungen zur Verifizierung des Grenzausziehwiderstandes und des Kriechverhaltens der Bodennägel;
- c) Prüfungen zur Bewertung der Standfestigkeit der Frontausbildung zur Beurteilung der Standzeit des Baugrundes während der Aushubarbeiten.

9.3.2 Bodennagellastprüfungen

9.3.2.1 Die Häufigkeit und Durchführung der Bodennagellastprüfung sollte auf Grundlage der Berücksichtigung der Folgen eines Versagens stattfinden, wie in EN 1990 und EN 1997 festgelegt.

9.3.2.2 Tabelle 1 beschreibt die grundlegenden Typen von Bodennagellastprüfungen, ihren Zweck, wann sie erforderlich sind und die notwendigen Handlungen im Fall eines nicht übereinstimmenden Prüfergebnisses. Anhang C enthält eine Anleitung zu den Prüfverfahren, Annahmekriterien und die einzusetzenden Geräte für Bodennagellastprüfungen. Tabelle 2 schlägt die Häufigkeit von Bodennagellastprüfungen auf Grundlage der geotechnischen Kategorie vor.

9.3.2.3 Opferprüfnägel sind das bevorzugte Verfahren zur Validierung der Widerstandsfähigkeit eines Bodennagels. Die Länge der Nägel kann ungebunden sein, wie in Anhang C beschrieben.

9.3.2.4 Wenn Lastprüfungen an Ausführungsnägeln durchgeführt werden, sollte die Herabsetzung der Aufnahmefähigkeit beachtet werden und dass zusätzliche Nägel eingebaut werden können, um ausreichende Widerstandsfähigkeit und Langzeitstabilität sicherzustellen.

9.3.2.5 Die Prüfverfahren und die Lage der Prüfnägel müssen vereinbart werden.

9.3.2.6 Zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit der Nägel über die gesamte Baustelle sollten die Prüfnägel möglichst gleichmäßig über den Bodenkörper für die Bodennagelarbeiten verteilt sein.

ANMERKUNG Aktive und passive Bereiche sind Funktionen bestimmter Grenzgleichgewichtsanalysen und sind für den Aushub nicht hilfreich. Schwerpunktthema bei der Prüfung ist es sicherzustellen, dass Randeffekte nicht zu einer Überbewertung der Bindung führen, und deshalb ist es wünschenswert, die Einbindung des Nagelkopfes in einem ausreichenden Abstand zum Reaktionssystem zu lösen. Die kleinste ungebundene Länge beträgt 1 m.

Tabelle 1 — Festlegung der Bodennagellastprüfungen

	Art der Bodennagellastprüfung	
	Prüfung von Opfernägeln	Prüfung von Ausführungsnägeln
Zweck der Prüfung	Verifizierung des bei der Konstruktion verwendeten Grenzbindungswiderstandes des Bodennagels zum Baugrund (1) Bindung im passiven Bereich (2) Bindung im aktiven Bereich (3) Bindung entlang der Gesamtlänge des Nagels	Nachweis der zufrieden stellenden Leistungsfähigkeit des Bodennagels bei einer vom Konstrukteur festgelegten Last Die Prüfung wird über die gesamte Länge des Nagels durchgeführt.
Wann geprüft	Vor, während und nach den Ausführungsarbeiten	Während oder nach Fertigstellung der Ausführungsarbeiten
Typ des verwendeten Nagels	Opfer Nagel	Bauwerksnagel
Maßnahme im Falle der Nicht-Übereinstimmung des Prüfergebnisses	Erneute Überprüfung des Bodennageleinbauverfahrens und/oder Erwägung einer alternativen Bodennagellänge und -anordnung	Konstrukteur für Maßnahmen und Zustimmung zur Fortführung der Arbeiten zu Rate ziehen
Bemerkungen	Falls notwendig, bei jeder einzelnen Bodenschicht	Vorsicht bei der Prüfung der Ausführungsnägel, um die Bindung zwischen Nagel und Einpressmittel nicht zu überspannen oder den Korrosionsschutz zu beschädigen Wird eine Frontausbildung eines Bauwerkes verwendet, sollte deren Verbindung zum Prüfnagel innerhalb des Einflussbereiches der Frontausbildung gelöst werden

Tabelle 2 — Vorgeschlagene Häufigkeit von Bodennagellastprüfungen auf der Grundlage der Dichte der Nägel und der geotechnischen Bauwerkskategorie

Art der Prüfung	Vorgeschlagene Mindesthäufigkeit von Lastprüfungen	
	Prüfung von Opfernägeln	Prüfung von Ausführungsnägeln
Kategorie 1: geringfügiges Risiko für Sachwerte oder Menschen	freigestellt	freigestellt
Kategorie 2: kein ungewöhnlich hohes Risiko für Sachwerte oder Menschen	Ohne vergleichbare Erfahrung mit der Bodenart: mindestens drei Opfernägel mit mindestens einem Opfernägel je Bodenart Sind direkte Erfahrungen vorhanden, sind die Prüfungen der Opfernägel freigestellt	2 %, mindestens drei Prüfungen
Kategorie 3: alle weiteren Konstruktionen, die nicht durch Kategorien 1 und 2 abgedeckt sind	Mindestens fünf Opfernägel mit mindestens zwei Opfernägeln je Bodenart	Nach Anzahl der Nägel: 3 %, mindestens fünf Prüfungen
ANMERKUNG 1	Geotechnische Bauwerkskategorie wie in EN 1997 festgelegt.	
ANMERKUNG 2	Prüfnägel sollten gleichmäßig über das Bauwerk verteilt werden.	
ANMERKUNG 3	Die Häufigkeit der Prüfungen ist ein vorgeschlagener Mindestwert.	
ANMERKUNG 4	Wenn Prüfungen von Opfernägeln durchgeführt werden, kann die Anzahl der Prüfungen von Ausführungsnägeln verhältnismäßig verringert werden.	
ANMERKUNG 5	Bei Abständen von weniger als 0,8 m wird eine Gruppenprüfung von vier Nägeln empfohlen.	

9.3.3 Werkstoffprüfungen

9.3.3.1 Diese Abschnitte betreffen die Prüfung von Werkstoffen, die während der Ausführung von Bodenvernagelungsarbeiten hergestellt werden, wie zum Beispiel Einpressmittel, Spritz- oder Ortbeton.

9.3.3.2 Die Probenahme und Prüfung von Einpressmitteln müssen nach den Anforderungen von EN 196-1 erfolgen, um die Übereinstimmung mit den charakteristischen Festigkeiten und weiteren in der Konstruktion festgelegten Eigenschaften sicherzustellen. Einpressmittel innerhalb des Ringraums zwischen einem Wellblech und einem Stab sollten nach EN 445 unter Berücksichtigung von EN 446 und EN 447 geprüft werden.

9.3.3.3 Die Prüfung von Spritzbeton sollte Prüfungen der Werkstoffbeschaffenheit (Korngröße, Feuchtigkeitsgehalt usw.), Proben von vorherigen Prüfungen und von fertig gestellten Bauausführungen enthalten. Wenn die Probenahme Kernbohren der abgeschlossenen Bauausführungen einschließt, muss die Wiederinstandsetzung, soweit notwendig, ausgeführt werden. Die Prüfverfahren müssen EN 14488 (allen Teilen) entsprechen.

9.3.3.4 Die Probenahme und Prüfung von Beton muss nach den Anforderungen von EN 206-1 erfolgen.

9.3.3.5 Die Probenahme und Prüfung weiterer Werkstoffe muss Abschnitt 6 entsprechen.

9.3.4 Prüfungen der Standfestigkeit der Frontausbildung

9.3.4.1 Wenn die Ausführung der Bodenvernagelung Aushub einschließt und eine Unsicherheit über die Standfestigkeit des Baugrundes am vorgeschlagenen Frontwinkel besteht, sollten Prüfungen zur Standfestigkeitsbeurteilung der Frontausbildung durchgeführt werden. Es ist wichtig festzuhalten, dass Prüfungen zur Standfestigkeitsbeurteilung der Frontausbildung nicht genau sind und nur als Hinweis auf die Standfestigkeit der Frontausbildung dienen.

9.3.4.2 Die Prüfung enthält den Aushub einer Probegrube bis zu einer Schräge und Tiefe gleich dem in der Konstruktion verwendeten Böschungswinkel und der Wandhöhe. Die Breite des Aushubes sollte nicht weniger als die zweifache Wandhöhe betragen und die Beobachtungsdauer sollte für die angenommene Zeit zwischen dem Einbau der Nagelreihen repräsentativ sein.

9.3.4.3 Wenn möglich, sollten diese Prüfungen vor der Ausführung der Arbeiten durchgeführt werden. Wenn die Ausführung der Bodenvernagelung Aushub bis in beträchtliche Tiefen und in unterschiedlichen Gesteinsschichten einschließt, sollte die Durchführung von zusätzlichen Prüfungen erwogen werden, wenn die Ausführung fortschreitet oder veränderte Baugrundbedingungen anzutreffen sind.

9.4 Überwachung während der Bauarbeiten

9.4.1 Art, Umfang und Genauigkeit der Überwachung und die Anforderungen an die Prüfung müssen Abschnitt 4 von EN 1997-1:2004 entsprechen.

ANMERKUNG Wenn das Beobachtungsverfahren angewendet wird, ist EN 1997-1:2004, 2.7 besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

9.4.2 Die Einzelheiten der Aufzeichnungen über die Überwachung, die sowohl während als auch nach der Ausführung der Arbeiten anzufertigen sind, sind in Abschnitt 10 festgelegt.

9.4.3 Die Überwachung der horizontalen und vertikalen Bewegung der Anlagen sollte durchgeführt werden.

ANMERKUNG Ein geeignetes Überwachungsprogramm kann in Abhängigkeit von der geotechnischen Kategorie oder der Projektspezifikation schwanken (von Sichtprüfung bis zur Überprüfung mit vollständiger Geräteausrüstung).

9.4.4 Treten Bewegungen auf oder überschreiten diese die Schwellenwerte, müssen in der Konstruktion festgelegte Stabilisierungsmaßnahmen vorgenommen und die Bauausführungsverfahren einer erneuten Überprüfung unterzogen werden.

ANMERKUNG Veränderungen der Bauausführungsverfahren, die möglicherweise eine Fortsetzung der Bauausführung ermöglichen, schließen die Verringerung der Stufentiefen und -längen, Einbauzeit der Frontausbildung und Grundwasserregulierung ein.

9.4.5 Sichtprüfungen des ausgehobenen Baugrundes auf Anzeichen von Grundwasser müssen ausgeführt werden. Ist Grundwasser anzutreffen, muss die Angemessenheit des Drainagesystems für den beobachteten Wasserstand bestätigt werden.

9.4.6 Ist die Konstruktion anfällig gegenüber Veränderungen des Grundwassers, sollten Piezometer eingebaut werden und eine Überwachung erfolgen.

9.5 Maßnahmen zur Unterstützung einer langfristigen Überwachung

9.5.1 Die Notwendigkeit einer langfristigen Überwachung sollte anhand der geotechnischen Kategorie des Bauwerkes beurteilt werden.

9.5.2 Falls eine langfristige Überwachung als notwendig erachtet wird, müssen die Zwecke, zu treffende Vorkehrungen, die erforderlichen Geräte und die Überwachungshäufigkeit eindeutig festgelegt werden. Wenn zutreffend, müssen Grenzwerte und zu treffende Maßnahmen ebenfalls eindeutig festgelegt werden.

9.5.3 Eine langfristige Überwachung der Bodennagelbauausführung kann folgende Punkte enthalten, ist jedoch nicht auf diese beschränkt:

- a) Bewegung der Anlagen oder benachbarten Bauwerke und Böschungen;
- b) Belastungsprüfungen an Opfernägeln oder Ausführungsnägeln;
- c) Wirksamkeit von Drainagesystemen;

- d) Veränderungen im Grundwasser und der Hydrogeologie;
- e) Abbau (Degradierung) von Bodennägeln und Frontausbildungssystemen;
- f) Kräfte in den Bodennägeln;
- g) Vorschläge für eine langfristige Überwachung sind in A.6 zu finden.

9.5.4 Wird eine langfristige Überwachung in Erwägung gezogen, muss die Sicherheit des Personals beachtet und ein sicherer Zugang ermöglicht werden.

9.5.5 Enthält die Konstruktion der Bodennagelarbeiten das Beobachtungsverfahren, müssen die Anforderungen an die Überwachung in 9.4 und 9.5 berücksichtigt werden.

10 Aufzeichnungen

10.1 Aufzeichnungen über die Bauausführung müssen nach EN 1997-1:2004, Abschnitt 4 erstellt werden.

10.2 Ein Bauausführungs- und Nageleinbauplan ist zu erstellen und muss auf der Baustelle zur Verfügung stehen und die technischen Festlegungen bezüglich des verwendeten Nagelsystems enthalten.

10.3 Ein Nageleinbauplan muss mindestens die folgenden Informationen enthalten:

- a) Nageltyp mit Bezeichnung;
- b) Anzahl der Nägel;
- c) Lage, Ausrichtung und Neigung jedes Nagels und zulässige Abweichungen in der Position zu einem vereinbarten Bezugswert;
- d) geforderte Tragfähigkeit des Nagels;
- e) Einbautechnik;
- f) bekannte Hindernisse und alle weiteren Einschränkungen der Wirksamkeit der Nägel;
- g) Korrosionsschutzverfahren;
- h) durchgeführte Nagelprüfung;
- i) Zeitplan der Bauarbeiten.

10.4 Aufzeichnungen zur Bauausführung sind aufzubewahren. Diese Aufzeichnungen müssen alle besonderen Merkmale der Bauausführung enthalten.

10.5 Die folgenden Informationen sollten, soweit erforderlich, in den Aufzeichnungen zur Bauausführung für jeden Nageleinbau enthalten sein:

- a) Projekt/Teil;
- b) Bezeichnung des Nagels;
- c) Einbaudatum;
- d) Nageltyp, Durchmesser, Länge, Ausrichtung;
- e) Einbauverfahren;

- f) Bohrverfahren;
- g) Bohrloch verrohrt/unverrohrt und Durchmesser des Bohrloches;
- h) Ausspülverfahren;
- i) Untergrundbedingungen (Kurzbeschreibung);
- j) hydrogeologische Bedingungen;
- k) Verbrauch von Einpressmittel;
- l) Bemerkungen (Klima, Wetter und Temperatur);
- m) besondere Maßnahmen;
- n) Ergebnisse von Prüfungen (falls durchgeführt) und getroffene Maßnahmen (falls ausgeführt).

10.6 Ausführungspläne sind nach Fertigstellung der Nägel zu erstellen und mit den Aufzeichnungen über die Bauausführung aufzubewahren. Alle von Aufsichtsbehörden ausgestellten Annahmebescheinigungen für die beim Nageleinbau verwendeten Werkstoffe müssen in den Aufzeichnungen zur Bauausführung enthalten sein.

11 Besondere Anforderungen

11.1 Allgemeines

Bei der Ausführung von Bodenvernagelungsarbeiten müssen die zutreffenden nationalen Normen, Spezifikationen oder Rechtsvorschriften hinsichtlich folgender Punkte beachtet werden:

- a) Sicherheit der Baustelle;
- b) Sicherheit der Arbeitsausführungsverfahren; und
- c) Betriebssicherheit der Anlage und der Hilfsanlagen, Einrichtungen und Werkzeuge.

11.2 Lärm

11.2.1 Vorsichtsmaßnahmen müssen getroffen werden, die sicherstellen, dass das Bedienpersonal keinen Lärmpegeln ausgesetzt ist, die die in internationalen oder nationalen Bestimmungen vorgeschriebenen Grenzwerte überschreiten.

11.2.2 Es sind Maßnahmen zu ergreifen, durch die für Menschen, die in der Nähe der Baustelle leben, arbeiten oder diese passieren, keine Gefahren oder übermäßige Belästigungen entstehen.

11.2.3 Maßnahmen sollten ergriffen werden, die den Lärm an seiner Quelle gering halten und/oder ihn von der allgemeinen Öffentlichkeit abschirmen.

11.2.4 Es kann notwendig sein, Warnschilder dort aufzustellen, wo die Wahrscheinlichkeit besteht, dass Autofahrer oder weitere Personen durch ein unerwartetes Geräusch in Gefahr geraten könnten.

11.3 Umweltschäden

Geeignete Maßnahmen müssen ergriffen werden, um schädliche Einflüsse auf die Umwelt zu begrenzen oder zu vermeiden. Die folgenden umweltbeeinflussenden Risiken müssen berücksichtigt werden:

DIN EN 14490:2010-11
EN 14490:2010 (D)

- a) übermäßige Erzeugung von Bewegungen in der Bauausführung selbst oder in angrenzendem Baugrund oder benachbarten Bauwerken;
- b) Verschmutzung von Grundwasser oder Oberflächenwasser;
- c) unzulässige Veränderungen in der natürlichen Grundwasserströmung;
- d) Luftverschmutzung;
- e) Fällung und Beschädigung von Bäumen;
- f) optische Auswirkungen von fertig gestellten Anlagen.

Anhang A (informativ)

Praktische Aspekte der Bodenvernagelung

A.1 Einleitung

Ziel der Bodenvernagelung ist es, die Standfestigkeit des Bodens in Fällen, in denen die Bedingungen der Standfestigkeit gefährdet sind, zu verbessern. Die Standfestigkeit wird durch den Einbau von Bodennägeln in den Boden, die aus Bewehrungsstäben bestehen, erreicht. Bodenvernagelung wird im Allgemeinen in Verbindung mit Aushüben, Böschungen und gelegentlich Tunnelanlagen, wie in den Bildern A.1 und A.2 dargestellt und zur Verbesserung der Bodenstabilität, angewendet. Die Bodennägel aktivieren Reibungskräfte entlang ihrer gesamten Länge, die zur Erhöhung der Stabilitätsbedingungen beitragen. Die Anzahl der Nägel und deren Einbaulänge müssen im Verhältnis zu den Stabilitätsbedingungen, die während der laufenden Arbeiten anzutreffen sind, angepasst werden. Korrosionsschutz ist bei Problemen mit der Langzeitstandfestigkeit unter aggressiven Bodenbedingungen erforderlich.

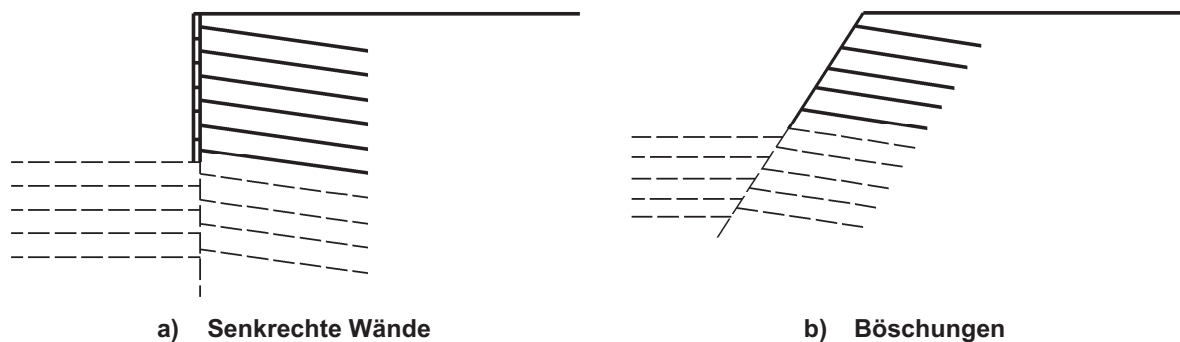
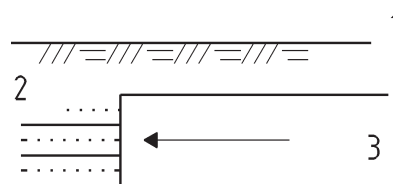


Bild A.1 — Absicherung der Standfestigkeit von Aushüben bei Verwendung von Bodenvernagelung

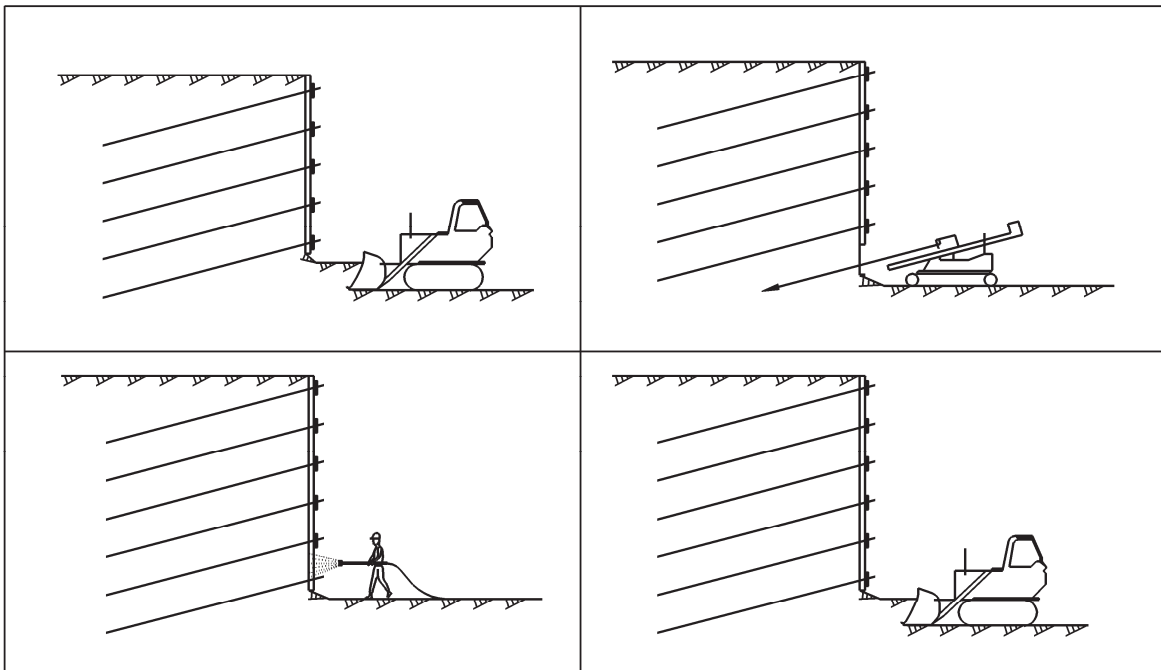


Legende

- 1 Baugrundoberfläche
- 2 Bodennägel
- 3 Tunnelvortrieb

Bild A.2 — Absicherung von Tunnelarbeiten durch die Verwendung von Bodenvernagelung

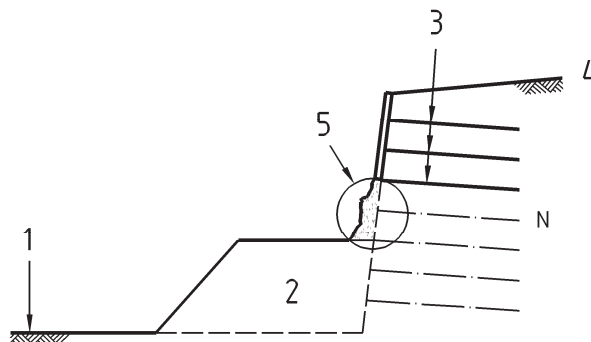
Bei Aushubarbeiten muss die Abfolge des Aushubes und der Bodenvernagelung angepasst werden, um die Bedingungen der Standfestigkeit auf der Baustelle nicht zu gefährden. Typische Aushubverfahren in Verbindung mit Bodenvernagelungsarbeiten sind in den Bildern A.3 und A.4 veranschaulicht.



Legende

- 1 Aushub
- 2 Einbau der Nägel
- 3 bewehrter Spritzbeton (oder vorgefertigte Frontausbildungsplatten)
- 4 nächster Aushub

Bild A.3 — Übliche Abfolgen von Aushub und Nageleinbau



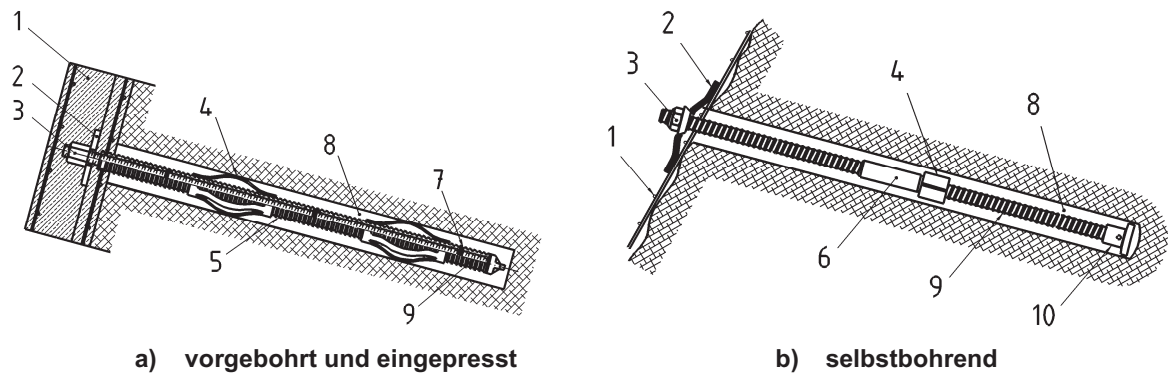
Legende

- 1 Großaushub für vorgeschlagene Anordnung
 - 2 Böschungsabsatz
 - 3 eingebaute Nägel
 - 4 bestehender Baugrund
 - 5 örtliches Ablängen der Frontausbildung, um die vereinbarten zulässigen Abweichungen vor dem Nageleinbau der Nagelreihe „N“ zu erreichen
- N Nte Reihe

Bild A.4 — Großaushub zur Bildung von Böschungsansätzen und Frontausbildung für Reihe „N“ von Bodennägeln

A.2 Beispiele für Bodennagelsysteme

Die Bodennagelsysteme enthalten Bewehrungsstäbe, üblicherweise Stahlstäbe, die in den Baugrund eingebracht und mit diesem in der erforderlichen Tiefe hinsichtlich der Sicherheitsbedingungen verbunden werden, und oftmals mit einer Kopfplatte und einem Frontausbildungssystem versehen sind, um die Standfestigkeit zwischen den Nägeln sicherzustellen und Erosionsprobleme zu vermeiden. Es gibt eine Anzahl verschiedener Bodenvernagelungssysteme. Typische Beispiele sind in Bild A.5 angegeben.



Legende

- | | | | |
|---|-----------------------|----|------------------------------|
| 1 | Frontausbildung | 6 | Kupplungsstück |
| 2 | Kopfplatte | 7 | innerer Abstandhalter |
| 3 | Sicherungsmutter | 8 | Ringraum des Einpressmittels |
| 4 | äußerer Abstandhalter | 9 | Bewehrung |
| 5 | Kanal | 10 | Bohrkronen |

Bild A.5 — Typische Bestandteile eines Bodennagelsystems, vorgebohrt und eingepresst, dargestellt mit einer starren/bedingt nachgiebigen Frontausbildung

ANMERKUNG Andere Systeme dürfen keine Einpressmittel/Kanal/Kupplungsstücke/Frontausbildung/Abstandhalter verwenden.

A.3 Beispiele für Frontausbildungssysteme, die in einer Bodennagelkonstruktion verwendet werden

A.3.1 Starre Frontausbildung

Die Kombination von Bodennägeln und Frontausbildung muss die Funktion erfüllen, die Böschung zwischen den Nägeln zu stabilisieren und muss deshalb so ausgelegt sein, dass sie den erwarteten höchsten Destabilisierungskräften standhalten kann. Beispiele für starre Frontausbildungsverfahren sind in den Bildern A.6 und A.7 dargestellt.

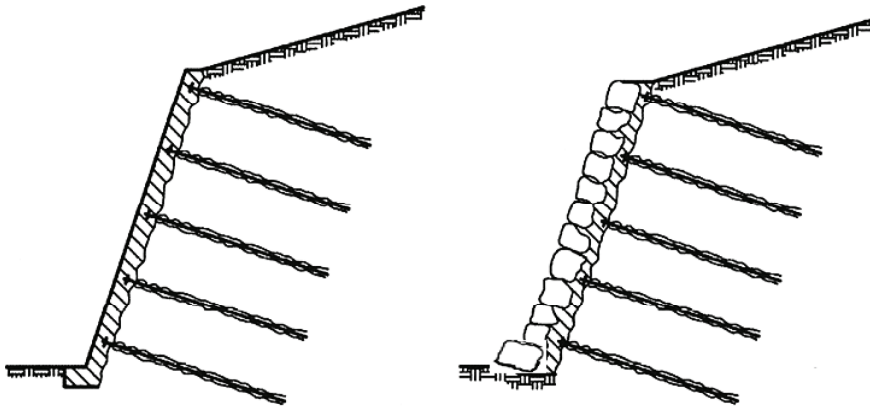


Bild A.6 — Gebaute starre Frontausbildung mit Beton (entweder gespritzt oder vor Ort gefertigt oder vorgefertigt)

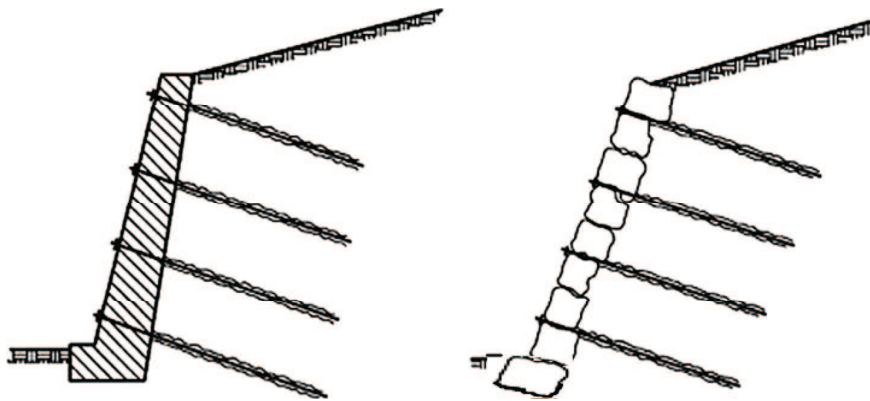
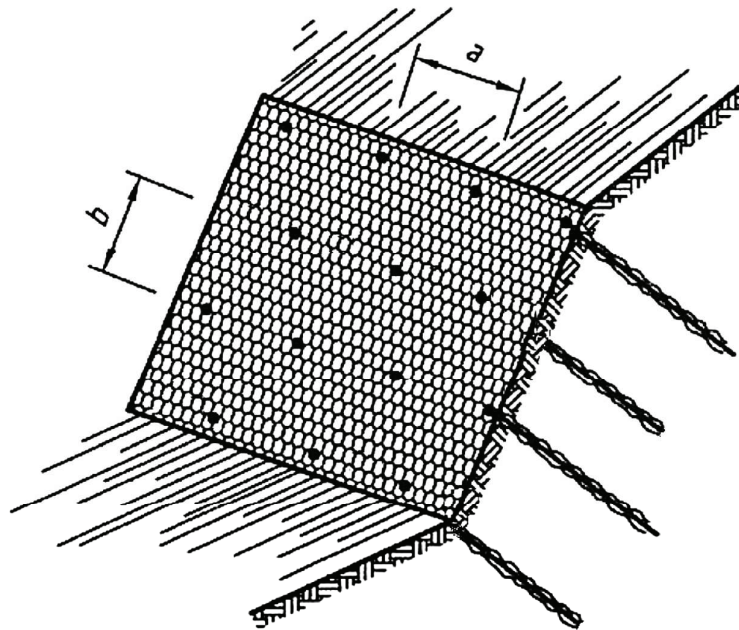


Bild A.7 — Festigung bestehender Stützbauwerke

A.3.2 Bedingt nachgiebige Frontausbildung

Bedingt nachgiebige Frontausbildungen sind so ausgelegt, dass sie den Bereichen der Böschungsfrost zwischen den Stützplatten den notwendigen Halt geben und einen Erosionsschutz bieten. Die Wahl der Art der bedingt nachgiebigen Frontausbildung ist vom Böschungswinkel, dem Wert für den Bodenreibungswinkel, der Böschungshöhe und der erwarteten Belastung abhängig. Übliche bedingt nachgiebige Frontausbildungen umfassen Geogitter-Stahlmatten und Geokunststoffe.



Legende

- a Nagelabstand
- b Nagelabstand

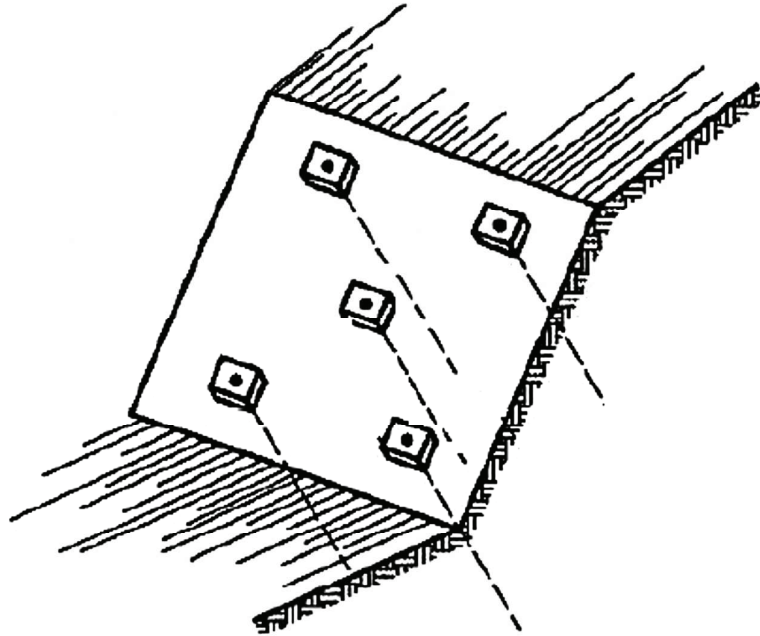
Bild A.8 — Maschendraht

A.3.3 Weiche Frontausbildung

Die Hauptfunktion einer weichen Frontausbildung besteht im Erosionsschutz und dem Schutz gegen das Aufreißen der Oberfläche. Oftmals dient die weiche Frontausbildung der Bewehrung der Vegetationsschicht, entweder vorübergehend oder auf Dauer. Mitunter dienen Nägel nur zur Befestigung der Frontausbildung und nicht zur Stabilisierung der Böschung.

A.3.4 Ohne Frontausbildungen

Vernagelung bei kritisch geneigten rutschigen Oberflächen (z. B. Gesteinsschichten mit verminderter Schubfestigkeit), die jedoch eine stabile Oberfläche aufweisen.

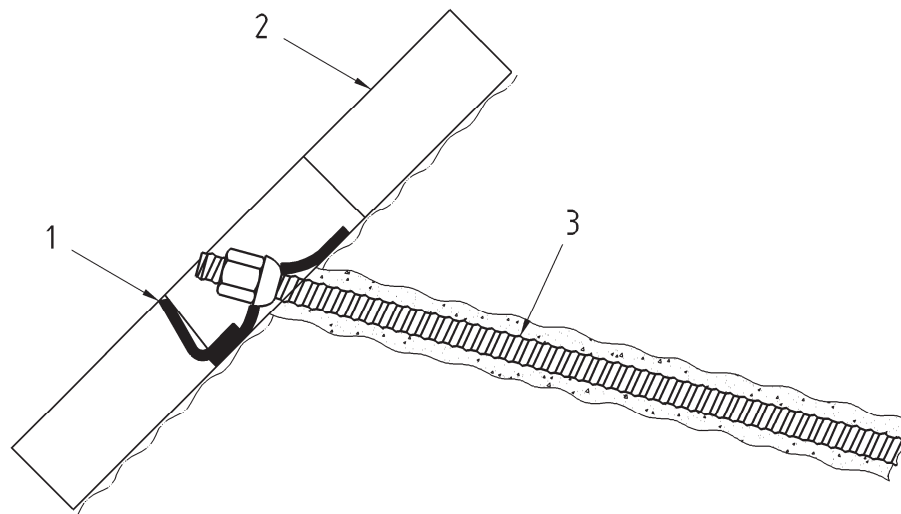


Legende

- 1 Nagelkopf eingelassen und eingemörtelt

Bild A.9 — Mit oder ohne Nagelkopfplatten

A.3.5 Beispiele für Bodennagelköpfe und Verbindungen mit Bodennagelfrontausbildungen

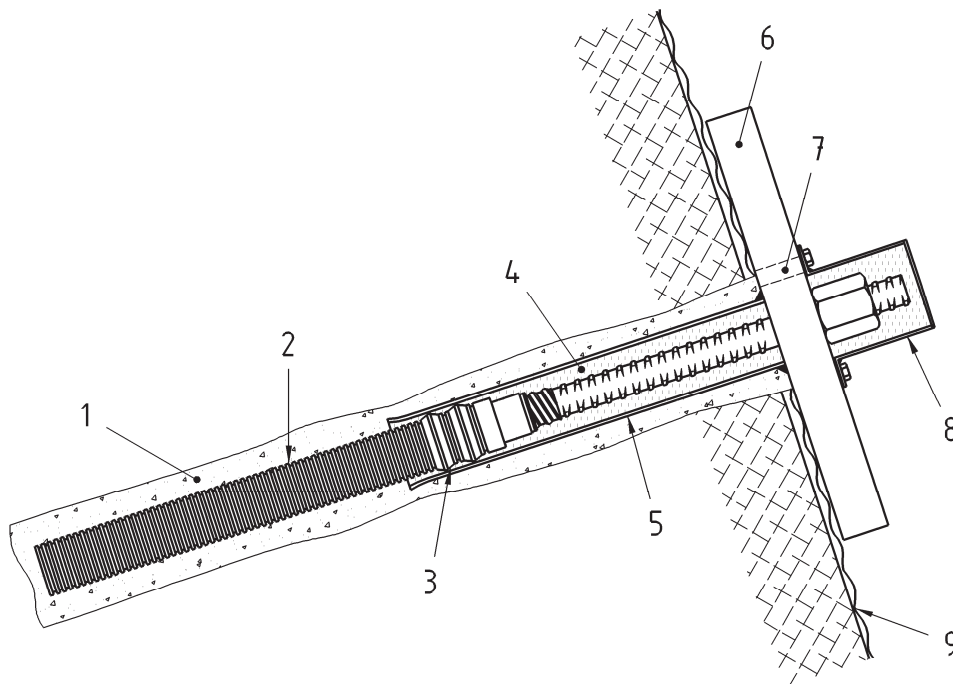


Legende

- 1 Hakenplatte zum Halten der netzförmigen Frontausbildung
- 2 netzförmige Frontausbildung¹⁾ verfüllt mit Mutterboden und mit Saatgut versehen
- 3 Hohlstab, Bodennagel

Bild A.10 — Beispiel für eine durch eine Kopfplatte gehaltene Geogitter-Frontausbildung mit einer zusätzlichen netzförmigen Frontausbildung für den Mutterboden

1) Geoweb® oder Krismer 3D® sind Beispiele für geeignete Produkte, die im Handel erhältlich sind. Diese Informationen werden angegeben, um die Anwendung dieser Europäischen Norm zu erleichtern, und stellen keine Unterstützung dieser Produkte durch CEN dar.



Legende

- 1 Bohrloch-Einpressmittel, 1,0 m zurückgespült – vor dem Verfüllen
- 2 geripptes Kunststoffhüllrohr
- 3 Dichtungsringe
- 4 Korrosionsschutzmasse
- 5 Stahlrohr
- 6 flache Stützplatte
- 7 Loch zum Einfüllen des Einpressmittels
- 8 Schutzkappe
- 9 Geonetz-Frontausbildung

Bild A.11 — Beispiel für Korrosionsschutz mithilfe eines gerippten Kunststoffkanals und einem Kopfdetail für Bodennägel in aggressiven Umgebungen

A.4 Beispiele für Drainagesysteme in einer Bodennägelkonstruktion

A.4.1 Allgemeine Bemerkungen

Wasser hat einen nachteiligen Einfluss auf die Standfestigkeit der Böschung und muss so umfassend wie möglich von der Oberfläche abgeleitet werden. Auf diese Weise können allgemeine oder örtlich auftretende Erosion usw. sowie kritische Wasserdrücke hinter den Frontausbildungen gering gehalten werden (besonders wichtig bei einer vollständigen Abdeckung oder einer Pflanzendecke).

Drei wesentliche Maßnahmen müssen unterschieden werden:

- a) Verhinderung von Abflüssen im Oberflächenbereich;
- b) Oberflächenentwässerung;
- c) Untergrunddrainage.

A.4.2 Auffangen von Abflüssen im Oberflächenbereich

Die Bilder A.12 und A.13 zeigen Beispiele für die Entwässerung oberhalb der Bodennagelkonstruktion.

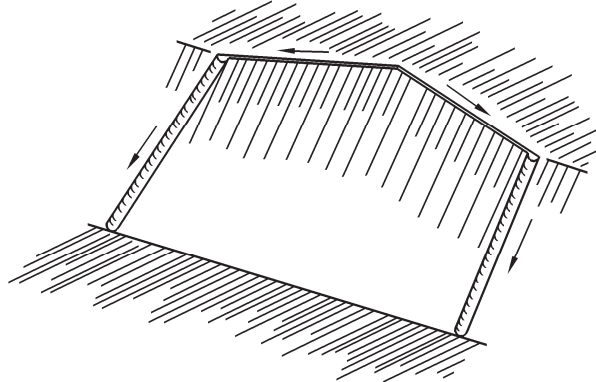


Bild A.12 — Eingegrabene Abläufe oberhalb der Bodennagelkonstruktion, die zu den Seiten der Böschung führen

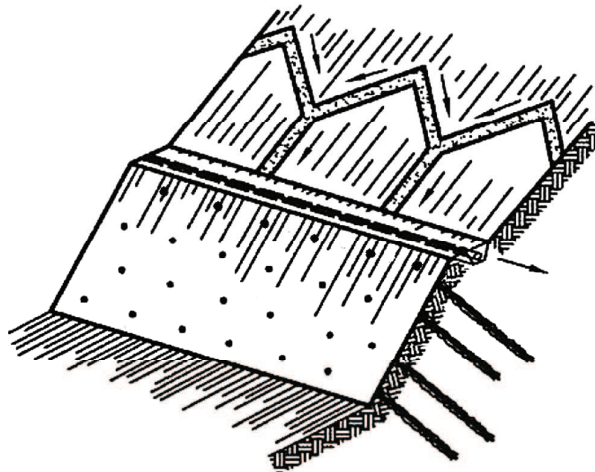
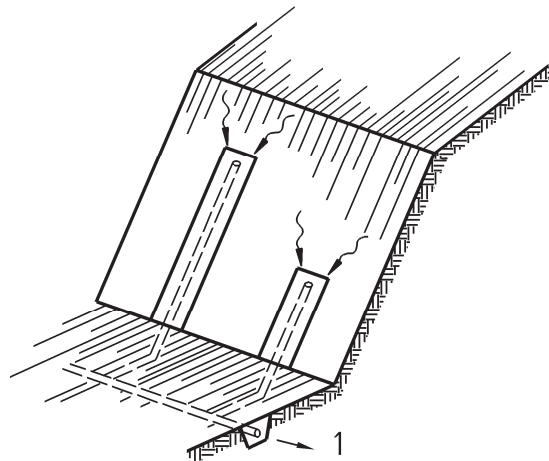


Bild A.13 — Oberflächenentwässerung oberhalb der Bodennagelkonstruktion (z. B. bei Schichtwasser) (z. B. Y-Dräns)

A.4.3 Oberflächenentwässerung

Systeme für bedingt nachgiebige und weiche Frontausbildungen mit Pflanzendecken, aber auch möglich hinter starren Frontausbildungen (Spritzbeton).



Legende

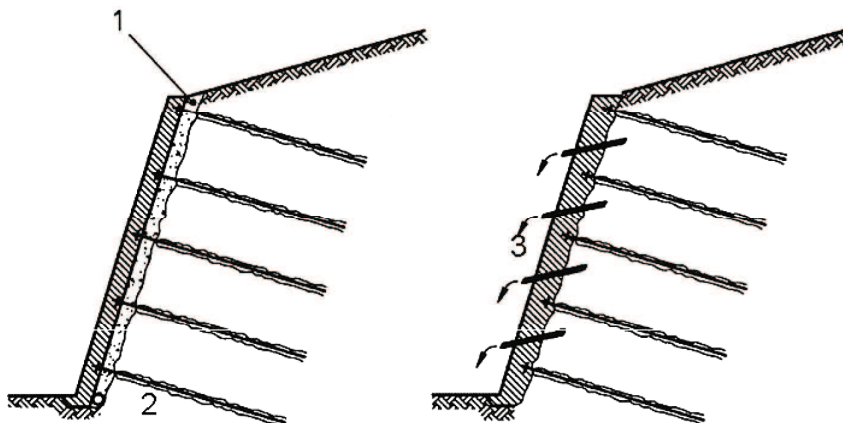
- 1 Fußentwässerung

Bild A.14 — Sickerwasser

A.4.4 Drainagesysteme für starre und undurchlässige Frontausbildungen

Bei vorgefertigten Betonwänden oder Ortbetonwänden können verteilte Filter aus Entwässerungsmaterial und Sammelleitungen eingesetzt werden.

Bei allen undurchlässigen Frontausbildungen sind wie in Bild A.15 dargestellt, ausreichende Entwässerungslöcher einzubringen.



Legende

- 1 Entwässerungsmaterial
- 2 Sammelleitung
- 3 Drainageöffnung

Bild A.15 — Starre und undurchlässige Frontausbildungen

A.4.5 Untergrunddrainage

Untergrunddrainagen sind erforderlich, wenn wassertragende Schichten vorhersehbar sind oder auftreten. Eine Untergrunddrainage kann erforderlich sein, wenn der Grundwasserspiegel abzusenken ist.

Entwässerungsbohrlöcher enthalten üblicherweise Schlitz- oder Lochrohre. Sie sind üblicherweise mit einem Geotextilienfilter umhüllt, um das Eindringen von Feinteilen zu verhindern. Die charakteristische Öffnungsgröße der Geotextilien sollte so gewählt werden, dass Verstopfungen auf ein Minimum herabgesetzt werden, wobei gleichzeitig das Eindringen von Wasser in das Rohr möglich ist.

Anzahl, Länge und Bauart der Entwässerungsröhre hängen von der erwarteten Wassermenge und dem Wasserhaushalt ab. Die Neigung der Bohrlöcher liegt üblicherweise bei $\geq 5\%$.

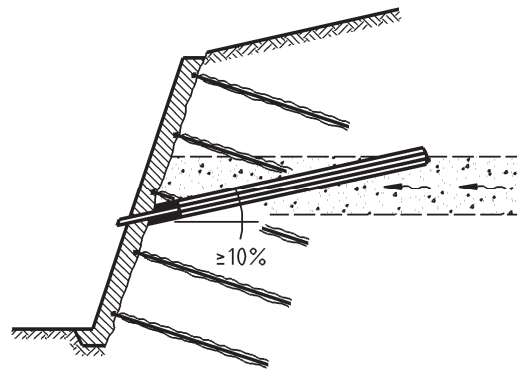


Bild A.16 — Untergrunddrainage

A.5 Zulässige Abweichungen

A.5.1 Die endgültige Position des Bodennagels auf der Baugrundoberfläche sollte innerhalb von ± 100 mm der beabsichtigten Position in der fertigen Bauwerksfront liegen. Werden Frontausbildungen aus Fertigteilen verwendet, kann eine größere Genauigkeit erforderlich sein.

A.5.2 Die am Kopf gemessene Ausrichtung des fertig gestellten Bodennagels sollte innerhalb von $\pm 5^\circ$ der in der Konstruktion vorgesehenen Ausrichtung liegen.

A.5.3 Obwohl eine Bohrlochabweichung über die Länge der Bohrung nicht kritisch sein muss, sollte sie selten ein 30stel der Bohrlänge überschreiten.

A.5.4 Sind die Bodennägel eng oder in kurzer Entfernung zu bestehenden Einrichtungen, Dräns oder Bauwerken eingebaut, kann der Konstrukteur engere zulässige Abweichungen festlegen.

A.6 Langzeitüberwachung

Die folgenden Punkte sind als Richtlinie für die Langzeitüberwachung vorgesehen:

- a) Kammstufen (Mindestabstände 20 m);
- b) Fußstufen (Mindestabstände 20 m);
- c) Kammlinie (Mindestabstände 10 m);
- d) Teilhöhe und Höhe der Ebene (empfohlen für Stützhöhen über 5 m);
- e) Neigungsmesser;
- f) Grundwasserstand;
- g) Wasserfluss durch Entwässerungsröhre;
- h) Proben für die Korrosionsschutzprüfung (festverdrahtet für die Rückholung).

Anhang B (informativ)

Grundlagen der Konstruktion

B.1 Allgemeines

B.1.1 Dieser Anhang ist nicht als Konstruktionsrichtlinie vorgesehen, sondern sein Zweck besteht darin, denjenigen, die in die Ausführung von Bodennagelarbeiten einbezogen sind, die Bodennagelkonstruktionskonzepte vorzustellen.

B.1.2 Die Konstruktion von Bodenvernagelung wird nicht ausdrücklich von EN 1997 abgedeckt. Jedoch sind einige allgemeine, geotechnische Themen, die allgemein üblich für Bodenvernagelung und weitere Techniken sind, darin enthalten. Dieser Anhang bietet einige Richtlinien für die Konstruktion von Bodennägeln.

B.1.3 EN 1997 legt drei geotechnische Kategorien fest; 1, 2 und 3. Der Konstruktionshinweis, der in diesem Anhang angegeben ist, würde üblicherweise auf Bauwerke der Kategorie 2 angewendet werden. Bauwerke der Kategorie 3 sind sehr groß oder ungewöhnlich und erfordern individuelle Überlegungen und Festlegungen für besondere Faktoren, zusätzlich zu den Konstruktionsanforderungen von Kategorie 2.

B.2 Allgemeine Grundlagen der Konstruktion

B.2.1 Üblicherweise ist es notwendig, Berechnungen für die Beurteilung der Standfestigkeit der geplanten Arbeiten durchzuführen. Im Allgemeinen wird eine Grenzgleichgewichtsuntersuchung durchgeführt, die nachweisen konnte, zufrieden stellende Ergebnisse zu erbringen. Ein wesentlicher Parameter, der sorgfältige Beachtung erfordert, ist die Bestimmung des Auszieh Widerstandes zwischen Nagel und Baugrund, da er grundlegend für den Vernagelungsprozess ist. Die Retentionswirkung von Bodennägeln ist in Bild B.1 dargestellt.

B.2.2 Alle Standfestigkeitsuntersuchungen sollten alle möglichen Bruchflächen beurteilen, d. h. sowohl diejenigen, die durch den Bereich verlaufen, für den Bodennagel vorgesehen sind und jene, die hinter oder unter dem vorgesehenen Bodenvernagelungsbereich verlaufen, (siehe Bild A.1). Wenn irgendeine der möglichen Bruchflächen zu einem geringeren als dem geforderten Sicherheitsfaktor führt, sollten die vorgeschlagenen Längen und Abstände der Nägel bis zum Erreichen eines zufrieden stellenden Wertes angeglichen werden.

B.2.3 Eine Vielzahl möglicher Bruchmechanismen kann in einer Standfestigkeitsuntersuchung Anwendung finden (zum Beispiel: einteiliger Keil, zweiteiliger Keil, „Logspirale“, Gleitkreis). Der ausgewählte Mechanismus sollte jedoch mit der Geometrie und Geologie der Böschung sowie äußeren Faktoren, wie zum Beispiel der seismischen Aktivität, vereinbar sein.

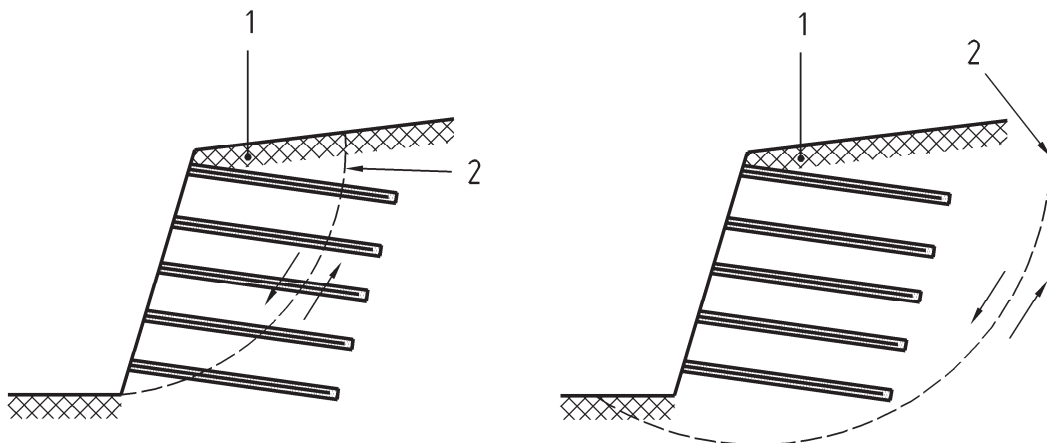
B.2.4 Üblicherweise ist es notwendig, die Standfestigkeitsuntersuchungen für jede Stufe der Bauarbeiten durchzuführen, da die Möglichkeit besteht, dass die abgeschlossene Bauausführung für den geringsten Sicherheitsfaktor nicht repräsentativ ist.

B.2.5 Numerische Modellverfahren, wie zum Beispiel das Finite-Elemente-Verfahren, können auch für die Bodennagelkonstruktion angewendet werden und können nützliche Voraussagen über Bewegungen ermöglichen. Analysen auf der Grundlage des Finite-Elemente-Verfahrens sind immer dann am wirksamsten, wenn sich der entsprechende Bruchmechanismus von den gewöhnlichen runden Bruchflächen unterscheidet.

B.3 Bodennagelkonstruktion

B.3.1 Die Konstruktion eines Bodennagels betrifft hauptsächlich die Fähigkeit des Nagels:

- a) die geforderte Bemessungslast (Festigkeit) aufzunehmen;
- b) Verschiebungen zu begrenzen (Gebrauchstauglichkeit);
- c) diese Kriterien während seiner festgelegten Lebensdauer (Haltbarkeit) auszuhalten;
- d) die vorgesehenen Längen und Abstände der Nägel sollten angepasst werden, bis ein zufrieden stellender Wert erreicht werden kann.



- a) Überprüfung möglicher Bruchmechanismen, die durch die vorgesehenen Nägel verlaufen
- b) Überprüfung möglicher Bruchmechanismen, die um die vorgesehenen Nägel herum verlaufen

Legende

- 1 vorgesehener Bodennagel
2 mögliche Bruchfläche

Bild B.1 — Untersuchungen der Grenzgleichgewichtsstandfestigkeit von Bodennagelkonstruktionen

B.3.2 Konstruktionsbetrachtungen

B.3.2.1 Es gibt drei Hauptkriterien, die die Leistungsfähigkeit der Bodennagelkonstruktion beeinflussen:

- a) die Baugrundbedingungen;
- b) die Festigkeit der Bewehrung;
- c) der Auszieh Widerstand zwischen Bodennagel und Baugrund.

B.3.2.2 Der Auszieh Widerstand des Bodennagels kann entweder durch Schätzung aus den gemessenen Baugrundeigenschaften (Labor- oder Feldprüfungen) bestimmt oder direkt aus den gemessenen Eigenschaften (Nagellastprüfungen) ermittelt werden.

B.3.2.3 Diese Verfahren sollten das Verhalten des Baugrundes und des Grundwassers während der gesamten Nutzungsdauer des Bauwerkes berücksichtigen und, wenn möglich, direkt anhand gemessener Eigenschaften überprüft werden.

B.3.2.4 Prüfungen zur Beurteilung oder Bestätigung der Ausziehfestigkeit eines Bodennagels sind in Anhang C beschrieben.

B.3.2.5 Teilfaktoren des Auszieh Widerstandes für die Konstruktion sollten der anzuwendenden Norm entsprechen.

B.3.3 Gebrauchstauglichkeit

B.3.3.1 Es gibt derzeit keine Verfahren für genaue Voraussagen über Verformungen von sich in Nutzung befindlichen Bodennagelbauausführungen. Schätzungen können jedoch auf Grundlage empirischer Beobachtungen oder numerischer Voraussagen erfolgen. Werden numerische Voraussagen getroffen, sollten die für die Untersuchung verwendeten Parameter sorgfältig ausgewählt und das Modell kalibriert werden.

B.3.3.2 Während der Lastprüfung gemessene Nagelkopfverschiebungen können begrenzte Hilfestellung bei der Beurteilung der wahrscheinlichen Gesamtseitenverschiebung an der Front geben. Die Grenzwerte für das gesamte Bauwerk müssen mit den Anforderungen von EN 1997 übereinstimmen.

B.3.3.3 Die Verschiebung und Verformung einer bodenvernagelten Bauausführung kann von Faktoren, die außerhalb des bodenvernagelten Bereiches liegen, beeinflusst werden. Besondere Aufmerksamkeit sollte auf die Setzung oder Erosion des Bodens unterhalb der Bauausführung, seitliches Bodenkriechen benachbarter Bereiche der Bauausführung und Veränderungen im Grundwasserstand gerichtet werden.

B.3.4 Haltbarkeit der Konstruktion

B.3.4.1 Allgemeines

B.3.4.1.1 Bei metallischen Bewehrungen ist die elektrochemische Korrosion die Hauptform des Abbaus (Degradation). Bewehrungen und Teile aus Kunststoff können jedoch dem Verfall durch Hydrolyse, Oxidation, Rissbildung durch umweltbedingte Spannungen usw. ausgesetzt sein. Die Geschwindigkeit des Abbaus hängt von der elektrochemischen Umgebung im Baugrund, dem Werkstoff der Bewehrung und seiner Temperatur- und Spannungshöhe ab.

B.3.4.1.2 Beim Korrosionsschutz von Stahlbauteilen in einem Nagel sind die Aggressivität der Umgebung, die Art des Nagels, die Art der Last (Zug- oder Druckbeanspruchung), die Art des Stahls und die erforderliche Entwurfslebensdauer zu berücksichtigen.

B.3.4.1.3 Für Verbindungselemente sind dieselben Regeln bezüglich des Korrosionsschutzes anzuwenden wie für die anderen Stahlbauteile.

B.3.4.1.4 Besonders ist auf den Fortbestand des Korrosionsschutzes an Verbindungsteilen zu achten.

B.3.4.1.5 Es sollte darauf geachtet werden, dass besondere Schutzmaßnahmen sich nicht negativ auf weitere Eigenschaften auswirken.

B.3.4.2 Bewertung der Korrosivität

B.3.4.2.1 Die erforderliche Entwurfslebensdauer für eine bestimmte Situation kann durch eine Vielzahl von Verfahren oder Kombinationen von Verfahren erreicht werden. Üblicherweise ist eine Bewertung der Korrosivität des Baugrundes erforderlich, um zu ermitteln, welcher Grad des Korrosionsschutzes erforderlich ist.

B.3.4.2.2 In Tabelle B.1 sind vier unterschiedliche Bodenkategorien vorgeschlagen, die auf einer Rangordnung beruhen, um die Aggressivität des Bodenzustandes und die davon ausgehende Notwendigkeit des Korrosionsschutzes zu bestimmen.

Tabelle B.1 — Klassifizierung des Bodenzustandes

Eigenschaften des Bodens	Klassifizierung	Kennzahl ΣA
Hoch korrosiv	I	13 oder größer
korrosiv	II	9 bis 12
Durchschnittlich korrosiv	III	5 bis 8
Leicht korrosiv	IV	4 oder weniger

ANMERKUNG Tabelle B.1 ist ein Auszug aus Clouterre: *Soil Nailing Recommendation* — 1991. Weitere Angaben bezüglich der Bodeneigenschaften sind in Clouterre zu finden.

B.3.4.2.3 In Tabelle B.2 ist ein allgemeines Verfahren zur Bewertung der Korrosivität angegeben, das besonders zu beachtende Faktoren hervorhebt.

B.3.4.2.4 Die Bewertung sollte auf der Grundlage der am besten bekannten Werte oder Schätzungen für die zu betrachtende Baustelle erfolgen. Stehen keine Informationen zur Verfügung, ist der schlechteste maßgebliche Fall zu berücksichtigen.

B.3.4.2.5 Demnach geht das allgemeine Verfahren davon aus, dass der Bodenzustand aggressiv oder hoch aggressiv ist; eine genauere Bewertung sollte nach nationalen Anforderungen vorgenommen werden.

Tabelle B.2 — Allgemeines Verfahren zur Bewertung der Korrosivität

Kriterium	Merkmale	Gewichtung <i>A</i> des Kriteriums
Bodenart ²⁾	Beschaffenheit	
	— schwer, formbar, pappig, undurchlässig	2
	— tonhaltiger Sand	1
	— leichte, durchlässige, sandige, nichtbindige Böden	0
	Tor und Moor/Marschland	8
	Industrieabfälle	
— Schlacke, Asche, Kohle	8	
— Bauabfälle (Putzmörtel, Mauersteine)	4	
Verunreinigte Flüssigkeiten		
— Industrieabwässer	6	
— Wasser, das Tausalz enthält	8	
Widerstands fähigkeit (Ω cm)	$p < 1\ 000$	5
	$1\ 000 < p < 2\ 000$	3
	$2\ 000 < p < 5\ 000$	2
	$5\ 000 < p$	0
Feuchte gehalt	Grundwasserspiegel – Brackwasser (schwankend oder dauerhaft)	8
	Grundwasserspiegel – Reinwasser (schwankend oder dauerhaft)	4
	oberhalb des Grundwasserspiegels – feuchter Boden (Wassergehalt > 20 %)	2
	oberhalb des Grundwasserspiegels – trockener Boden (Wassergehalt < 20 %)	0
pH-Wert	< 4	4
	4 bis 5	3
	5 bis 6	2
	> 6	0
	Allgemeine Kennzahl	Summe der oben angegebenen Werte ΣA

2) Der Wert für die Gewichtung des Kriteriums „Bodenart“ ist der maximale Wert, der für den jeweiligen Boden aus den Untergruppen „Beschaffenheit“, „Torf“, „Industrieabfälle“ und „Flüssigkeit“ anwendbar ist. Die maximale Gewichtung für jedes der vier Kriterien ist kleiner oder gleich 8.

ANMERKUNG Tabelle B.2 ist ein Auszug aus Clouterre: *Soil Nailing Recommendation — 1991*. Weitere Angaben bezüglich der Bodeneigenschaften sind in Clouterre zu finden.

B.3.4.3 Die folgenden Ansätze zum Erreichen der gewünschten Betriebsdauer werden gewöhnlich bei metallischen Bewehrungen, üblicherweise bei Bewehrungen aus Stahl angewendet:

- a) Korrosionszugabe;
- b) Einkapselung mit einem geeigneten Einpressmittel, Mörtel oder Beton;
- c) Oberflächenbeschichtung;
- d) geripptes Hüllrohr mit Einpressmittel;
- e) nicht rostender Stahl;
- f) eine Kombination der oben genannten Ansätze.

B.3.4.4 Korrosionszugabe

Bei diesem Verfahren wird davon ausgegangen, dass keine Oberflächenbehandlung oder Einkapselung durch Einpressmittel erfolgt ist. Es beruht auf der Überdimensionierung des Querschnitts der Bewehrung und weiterer Teile, um Korrosion zuzulassen. Der vorhergesagte Wert für den Dickenverlust auf Grund von Korrosion basiert auf historischen Angaben, die von in ähnlichen Umgebungen mit unterschiedlichen Graden von Bodenaggressivität eingebauten Bodennägeln, Spundwänden und eingegrabenen Bauwerken aus geripptem Stahl gewonnen wurden. Tabelle B.3 enthält Angaben zu den Werten für die Korrosionsopferverluste.

ANMERKUNG 1 Dieses Verfahren ist nicht für Bewehrungen mit kleinen Querschnitten oder für Stähle mit einem hohen Kohlenstoffanteil zu empfehlen. Dieses Verfahren der Stahlzugabe für Korrosion wird im Allgemeinen bei Bodennägeln angewendet, bei denen der prozentuale Anteil des Querschnittverlustes die Hälfte ihres ursprünglichen Querschnittes nicht überschreitet. Es wird normalerweise dort angewendet, wenn die Nägel an ziemlich angeschlossenen Zentren eingebaut sind und sie bis zu einem gewissen Grad überzählig sind.

ANMERKUNG 2 Es ist wichtig zu berücksichtigen, dass der Bodennagel unter aggressiven und hoch aggressiven Bodenbedingungen voraussichtlich nicht nur Zugkräfte, sondern auch Schubkräfte aufnehmen muss.

Tabelle B.3 — Angaben zu den Stahldickenverlusten (in Millimeter) auf Grund von Korrosion (Gesamtverringerng des Durchmessers oder der Dicke einschließlich beider Seiten)

Gesamtkennzahl I ³⁾ / Klassifizierung	Kurzzeitig ≤ 18 Monate	Kurzzeitig 1,5 Jahre bis ≤ 30 Jahre	Langfristig 30 Jahre bis ≤ 100 Jahre
≤ 4/IV	0	2 mm	4 mm
5 bis 8/III	0	4 mm	8 mm
9 bis 12/II	2 mm	8 mm	Kunststoffhüllrohr ^a
≥ 13/IV	Ein Kunststoffhüllrohr ist vorzusehen. ^a		
^a Eine Metallumhüllung wird nicht empfohlen, außer wenn besondere Gründe für ihre Verwendung vorliegen.			

ANMERKUNG 3 Tabelle B.3 ist ein Auszug aus Clouterre: *Soil Nailing Recommendation — 1991*. Ähnliche Tabellen sind auch in weiteren Dokumenten zu finden, wie z. B. in EN 14199.

3) Die Gesamtkennzahl I = $\Sigma A + C$, wobei ΣA auf Tabelle B.2 beruht und C ein Faktor ist, der sich auf die Klasse des Bauwerks bezieht. C = 2 für kritische Bauwerke und C = 0 für Normbauwerke.

B.3.4.5 Einkapselung mit geeignetem Einpressmittel, Mörtel oder Beton

B.3.4.5.1 Der durch die Alkalität von hydratisiertem Einpresszement geleistete Korrosionsschutz ist unter der Voraussetzung annehmbar, dass ein hoher Grad der Alkalität (pH-Wert 9,5 bis 13,5) aufrechterhalten wird.

ANMERKUNG Die Forschung hat gezeigt, dass überprüfte Rissbreiten von weniger als 0,1 mm als selbstheilend betrachtet werden können. Deshalb wird Einpresszement als eine annehmbare, undurchlässige Schutzeinkapselung erachtet, vorausgesetzt, die Rissbreite im Einpressmittelkörper von 0,1 mm wird nachweislich nicht überschritten.

B.3.4.5.2 Als Richtwert sollte die Einpressmittelhülle der Bewehrung und aller Verbindungen in Abhängigkeit vom Bodenzustand und der geplanten Lebensdauer größer als die in Tabelle B.4 angegebenen Werte sein.

B.3.4.5.3 Das Einpressmittel darf während oder nach dem Bohren eingebracht und kann über eine hohle Bewehrung oder ein getrenntes Betonierrohr injiziert werden. Die Anwendung von Einpresstechniken kann die Dicke und Qualität des Einpresszementes erhöhen und seine Eigenschaften als Korrosionsschutzhülle verbessern.

B.3.4.5.4 Die Werte in Tabelle B.4 beziehen sich auf eine Einkapselung mit Einpressmittel ohne weitere zusätzliche Schutzmaßnahmen. Die Tabelle basiert auf Erfahrungswerten mit anderen Arten von Bauwerken und ist lediglich als Leitlinie zu betrachten. In Kombination mit weiteren Maßnahmen (z. B. Galvanisierung oder Hüllrohr) kann eine längere Nutzungsdauer erreicht werden.

Tabelle B.4 — Leitlinie zur minimalen Einkapselung mit Einpressmittel von metallischen Teilen im Bohrloch in Abhängigkeit von den Bodenbedingungen und der Nutzungsdauer

	Zustand des Bodens	Nutzungsdauer des Bauwerks (Jahre) Einkapselung mit Einpressmittel (mm)				
		5	25	50	75	100
IV	Nicht aggressiv	10	20	25	35	a ₁
III	Leicht aggressiv	20	30	40	50	a ₁
II	aggressiv	30	40	50	75	a ₁
I	Hoch aggressiv	nicht anwendbar	nicht anwendbar	nicht anwendbar	nicht anwendbar	nicht anwendbar

^a₁ Zur Ermittlung der notwendigen Einkapselung mit Einpressmittel ist eine besondere Betrachtung erforderlich.

ANMERKUNG Die angegebenen Werte stellen nur eine Leitlinie dar. Die örtlich vorliegenden Bedingungen sollten betrachtet und geeignete Werte berücksichtigt werden.

B.3.4.6 Oberflächenbeschichtung

B.3.4.6.1 Stahlbeschichtungen, wie zum Beispiel Galvanisierung und Epoxydharzbeschichtung bieten einen Schutz des Stahls gegen Korrosion. Die Dauer des Schutzes hängt von der Dicke und der Qualität der Beschichtung ab.

B.3.4.6.2 Metallische Beschichtungen sind widerstandsfähig und selbstheilend und die Folgen von Oberflächenbeschädigungen sind weniger schwer. Die Zinkbeschichtung enthält eine schützende Oberfläche für den Stahl, welche nach dem Verlust der Galvanisierungsdicke bestehen bleibt. Diese Oberfläche vermindert die nachfolgende Geschwindigkeit der Korrosion des Ausgangsmetalls und folglich die Größe der zweitrangigen Korrosionszugabe. Es ist wichtig anzumerken, dass sich die Korrosionsgeschwindigkeit einer galvanisierten Beschichtung sowohl in Abhängigkeit von der Zeit als auch von der Lage beträchtlich unterscheiden kann.

B.3.4.6.3 Eine Epoxydharzbeschichtung wird manchmal als gleichwertig zu einer Zinkbeschichtung erachtet, jedoch unterscheidet sich der Schutzvorgang zwischen beiden. Epoxydharzbeschichtungen haben theoretisch eine lange Lebensdauer im Boden, die oft über die Nutzungsdauer des Bauwerkes hinausgeht. Es ist unerlässlich, dass die Bearbeitung und der Einbau von epoxydharzbeschichteten Bodennägeln mit Sorgfalt erfolgt, da stellenweise Beschädigungen zu Korrosion an diesen Stellen führen können.

B.3.4.6.4 Galvanische Beschichtungen sind nach EN ISO 1461 auszuführen.

B.3.4.6.5 Es sind besondere Schutzvorkehrungen zu treffen, um eine Beschädigung der Galvanisierung beim Transport, dem Umgang und dem Einbau des galvanisierten Bodennagels zu vermeiden.

B.3.4.7 Geripptes Hüllrohr mit Einpressmittel

B.3.4.7.1 Hüllrohre kommen in Verbindung mit dem Einpressmittel zum Einsatz. Die Einbeziehung eines Hüllrohrs in die Einpressmittelkapselung verhindert das Eindringen von Wasser oder aggressiven Stoffen an Stellen, an denen im Einpressmittel Risse auftreten.

B.3.4.7.2 Die Wirksamkeit des Hüllrohrs hängt von der Abdichtungsleistung des Systems sowie davon ab, wie einfach und praktikabel es ist, die Unversehrtheit des Systems beim Einbau und dem nachfolgendem Einpressen in das Bohrloch aufrechtzuerhalten.

B.3.4.7.3 Hüllrohre sind die hauptsächliche Schutzquelle für Bewehrungen in aggressiven Baugrundbedingungen. Es ist wichtig, dass die Handhabung und der Einbau von durch Hüllrohre geschützten Bodennägeln mit Sorgfalt erfolgt.

B.3.4.8 Nicht rostender Stahl

B.3.4.8.1 Es gibt mehrere unterschiedliche Arten von nicht rostendem Stahl. Wird nicht rostender Stahl für die Bodenvernagelung vorgeschlagen, sollte seine Korrosionsbeständigkeit für die Entwurfslebensdauer in den tatsächlich vorliegenden Baugrundbedingungen nachgewiesen werden.

B.3.4.8.2 Eine Verbindung zwischen nicht rostendem Stahl und anderem Stahl sollte vermieden werden, um eine galvanische Korrosion zu verhindern.

B.4 Besondere, für die Bemessung von Bodenvernagelungen wichtige Sachverhalte

B.4.1 Wenn die Bauausführung der Bodenvernagelung Aushubarbeiten einschließt, muss bei der Bemessung die Standfestigkeit der Bauausführung in einzelnen Phasen beachtet werden, da der jeweilige Sicherheitsfaktor bei vorübergehenden Arbeiten geringer als der für das fertig gestellte Bauwerk sein kann.

B.4.2 Bodenvernagelung ist eine in-situ-Technik, folglich sollten Möglichkeiten zur Abänderung der Konstruktion erwogen werden, wenn unvorhergesehene Baugrundbedingungen auf der Baustelle angetroffen werden.

B.4.3 Grundwasser, das Einsickern von Regenwasser und das Bohren mit Hochdruckwasser als Spülmedium haben eine bedeutende Auswirkung auf die meisten geotechnischen Bauwerke. Bei der Bodenvernagelung trifft das besonders zu, da der erhöhte Bodenporenwasserdruck zum einen die Standfestigkeit des Bodens und zum anderen den Auszieh Widerstand der Nägel verringern kann. Auf Grund des Risikos, dass das Drainagesystem mit der Zeit verstopft, sollten bei der Bemessung einige Drainagemassnahmen mehr als nötig in das unterirdische Drainagesystem einberechnet werden.

Anhang C (informativ)

Prüfung von Bodennagelsystemen

C.1 Prüfung

C.1.1 Es können zwei verschiedene Arten von Prüfungen ausgeführt werden; Prüfungen von Opfernägeln (siehe C.3.3) und Prüfungen von Ausführungs-nägeln (siehe C.3.4).

C.1.2 Der Konstrukteur sollte die Einbindungslänge des Prüfnagels festlegen (die Länge des Nagels, die mit dem ihn umgebenden Baugrund in Berührung ist).

Bei der Bemessung der Einbindungslängen für das Prüfprogramm von Bodennägeln sollte Folgendes berücksichtigt werden:

- a) die geologische Schichtenfolge und mögliche Schwankungen;
- b) die Lage möglicher Rutschoberflächen, die im Bemessungsmodell verwendete aktive und passive Bereiche festlegen;
- c) die typische (oder mittlere) Länge des Nagels innerhalb der passiven und aktiven Bereiche im Bemessungsmodell (d. h. die Einbindungslänge des Prüfnagels muss für die Längen, die die stabilisierende Kraft innerhalb des Bauwerkes herstellen, repräsentativ sein).

C.1.3 Es ist wichtig, dass der Prüfnagel axial belastet wird; das kann durch Schneiden der Böschung senkrecht zum Nagel oder mit einem Spanngerät erreicht werden.

C.1.4 Die Prüflast P_p sollte bei der Bemessung festgelegt werden.

C.2 Geräte

C.2.1 Prüflastsystem

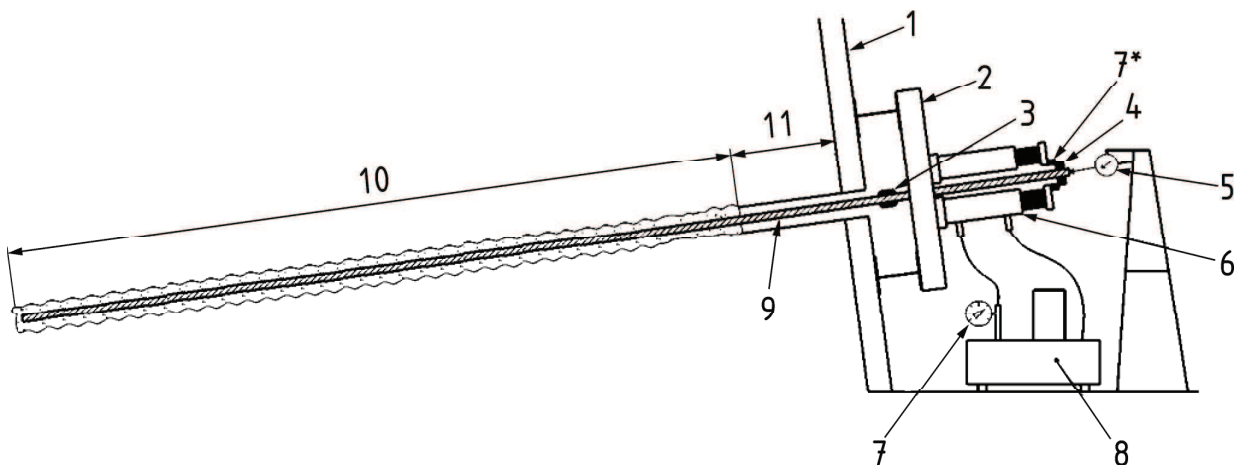
C.2.1.1 Das Prüflastsystem enthält die Hebevorrichtung oder das Spanngerät; Geräte zur Überwachung der Verschiebung der Last; ein Reaktionssystem; zugehörige Sicherungsmuttern, Erweiterungsstücke usw. Eine schematische Darstellung eines Prüflastsystems für Nägel ist in Bild C.1 dargestellt.

C.2.1.2 Das Prüflastsystem sollte in der Lage sein, ohne übermäßige Verformung bei Anwendung der größten Prüflast sicher zu arbeiten.

C.2.1.3 Wenn das Frontausbildungssystem oder das Lastprüfungsreaktionssystem einen Einfluss auf das Prüfergebnis haben könnten, muss der Prüfnagel über den gesamten Einflussbereich ungebunden sein.

C.2.1.4 Vor dem endgültigen Zusammenbau des Systems zur Überwachung der Verschiebung, kann es erforderlich sein, eine Bezugslast aufzubringen, um die Bewegung der Nagelprüfanordnung bei der anfänglichen Belastung gering zu halten. Die Bezugslast P_0 sollte nicht mehr als 10 % von P_p betragen.

ANMERKUNG Die Bezugslast ist die Ausgangskraft P_0 , die auf einen Prüfnagel vor Beginn der Lastprüfung aufgebracht wird, um Durchhang im Prüfsystem abzufangen (manchmal als Auflagelast bezeichnet).



Legende

- 1 Frontausbildung
- 2 starrer Reaktionsrahmen
- 3 Erweiterung des Bodennagels für die Prüfung
- 4 Sicherungsmutter und Platte auf dem Gegengewicht
- 5 Verschiebungsmessgerät an einem unabhängigen Halterahmen
- 6 Hydraulikpresse zum Spannen
- 7 kalibriertes Druckmessgerät zur Steuerung der Presskraft (alternativ kann eine Lastmessdose verwendet werden, siehe 7* im Bild)
- 8 Pumpe
- 9 Bodennagel
- 10 Einbindelänge
- 11 ungebundene Länge

Bild C.1 — Schematische Darstellung der Anordnung des Nagellastprüfsystems

C.2.2 Reaktionssystem

C.2.2.1 Das Reaktionssystem ist so zu bemessen, dass seine strukturelle Beständigkeit nach den maßgeblichen Europäischen Normen mindestens der maximalen Prüflast (P_p) entspricht.

C.2.2.2 Das Reaktionssystem sollte so bemessen werden, dass es den zu messenden Ausziehungswiderstand des Prüfnagels nicht beeinträchtigt oder Auflagerdruck erzeugt, der die sichere Tragfähigkeit der Frontausbildung überschreitet.

ANMERKUNG Das könnte durch Verwendung einer besonderen Lastverteilungsvorrichtung an der Vorderseite der Frontausbildung erreicht werden. Das ist insbesondere bei weichen Frontausbildungen von Bedeutung.

C.2.3 Belastungseinrichtung

Die Belastungseinrichtung, üblicherweise eine Hydraulikpresse, sollte eine Nennleistung haben, die mindestens der größten Prüflast P_p entspricht. Die Erweiterung der Hydraulikpresse sollte vorzugsweise ausreichen, um ein erneutes Anpassen während der Prüfung zu vermeiden. Die Konstruktion der Belastungseinrichtung sollte ein allmähliches Anlegen der Prüflast in der Achse des Prüfnagels zulassen, sowohl in abnehmenden als auch zunehmenden Lastschritten.

C.2.4 Lastmessung

Die Last im Prüfnagel kann entweder indirekt, mittels eines kalibrierten Druckmessgerätes, das den hydraulischen Druck in der Belastungseinrichtung überwacht, oder direkt unter Verwendung einer Lastmessdose gemessen werden. Druckmessgeräte und Lastmessdosen sollten mit einer Genauigkeit von $\pm 2\%$ der

größten Prüflast P_p kalibriert werden. Werden Lastmessdosens angewendet, wird empfohlen, auf Grund der bei ihrer Anwendung in der Praxis auftretenden Schwierigkeiten ein zweites Messverfahren anzuwenden.

C.2.5 Verschiebungsmessung

Das Überwachungssystem für Verschiebungen sollte mit einer Ablesegenauigkeit von $\pm 0,1$ mm kalibriert werden. Die Halterung für die Verschiebungsmessgeräte sollte sich entfernt von der Belastungseinrichtung und dem Reaktionssystem befinden. Die unabhängige Halterung sollte ausreichend starr sein, so dass sie nicht durch Klimaeinwirkungen oder Hintergrundschwingungen beeinflussbar ist. Verschiebungsmessgeräte sollten die Verlängerung des Prüfnagels während der gesamten Prüfung, ohne die Notwendigkeit eines erneuten Anpassens, überwachen können.

C.2.6 Zeit- und Temperaturmessung

C.2.6.1 Die Genauigkeit des Zeitmessgerätes muss ≤ 1 s sein.

C.2.6.2 Die Genauigkeit des Temperaturmessgerätes muss ≤ 1 °C sein.

C.3 Durchführung der Prüfung

C.3.1 Prüfanforderungen

Das Prüfverfahren, die Häufigkeit und die Annahmekriterien sollten mit dem Konstrukteur vereinbart werden, sofern sie nicht festgelegt sind.

ANMERKUNG Es gibt zwei verschiedene Arten von Lastprüfungen für Bodennägel, die Prüfung von Opfernägeln und die Prüfung von Ausführungsägeln, wobei bei beiden unterschiedliche Ziele und Anforderungen vorliegen. Die Durchführung der Prüfungen ist unten beschrieben.

C.3.2 Prüfverfahren

Bei Bodenvernagelungen sollten statische Lastprüfungen angewendet werden. Dieser Anhang beschreibt die statische Lastprüfung in Einzelheiten, die in diesem Anhang aufgeführten zutreffenden Anforderungen sind jedoch auch bei Anwendung anderer Prüfverfahren anzuwenden, wie beispielsweise bei Anwendung der verschiebungsgesteuerten Prüfung.

C.3.3 Statische Lastprüfung — Allgemeines

C.3.3.1 Statische Lastprüfverfahren enthalten eine stufenweise Belastung des Prüfnagels bis zu einem Höchstwert und eine Messung der entsprechenden Verschiebung des Nagels bei jeder Stufe. Die Anzahl der Laststufen, die Dauer der Laststufe und die Kriterien für die Lastzunahme unterscheiden sich in Abhängigkeit vom Ziel der Prüfung.

C.3.3.2 Statische Lastprüfungen können in einem einzelnen Zyklus der Lastanwendung oder in mehreren Zyklen durchgeführt werden. Langfristiges Kriechverhalten kann auch durch statische Lastprüfverfahren untersucht werden, indem die Last über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten wird. Die letztere Prüfungsart wird üblicherweise als „gestützte“ oder „Kriech“-Lastprüfung bezeichnet.

C.3.3.3 Statische Lastprüfungen können für eine Vielzahl von Zielsetzungen angewendet werden, einschließlich der Verifizierung des für die Bemessung verwendeten endgültigen Bindungswiderstandes Bodennagel/Baugrund, und zum Nachweis einer zufrieden stellenden Leistung des Bodennagels bei Einwirkung der Gebrauchslast.

C.3.3.4 Tabelle C.1 enthält eine Zusammenfassung der Unterschiede bei der Durchführung der Prüfungen von Opfernägeln und Ausführungsägeln, wobei Leitlinien für die Anzahl der Zyklen, die größte Zykluslast, die Mindestanzahl von Laststufen und die größte Prüflast angegeben werden.

Tabelle C.1 — Vorgeschlagene Kriterien für die statische Lastprüfung von Bodennägeln

Prüfungsart	Prüfung von Opfernägeln	Prüfung von Ausführungsnägeln
Abschätzung der größten Prüflast	Der Wert von P_p muss bei der Bemessung unter Beachtung des maßgeblichen Bemessungsansatzes nach EN 1997 und entsprechender Teilsicherheitsfaktoren festgelegt werden.	Der Wert von P_p muss bei der Bemessung unter Beachtung des maßgeblichen Bemessungsansatzes nach EN 1997 und entsprechender Teilsicherheitsfaktoren festgelegt werden.
Anzahl der Lastzyklen	Bei Anwendung von mehr als einem Zyklus sollte der Bindungswiderstand im ersten Zyklus den bei der Bemessung vorausgesetzten charakteristischen Wert für die Last nicht überschreiten.	Ein einziger Zyklus ist gewöhnlich ausreichend.
Anzahl der Laststufen	Die maximale Stufengröße sollte ausreichen, um die Form der Lastverschiebungskurve festzulegen und sollte üblicherweise 20 % der größten Zykluslast nicht überschreiten.	Die Mindestanzahl von Laststufen ist 5.
Auswertung der Ergebnisse	Das Ergebnis der Prüfung von Opfernägeln ist unter der Voraussetzung annehmbar, dass die Kriechgeschwindigkeit bei der größten Prüflast P_p kleiner ist als 2 mm je logarithmischem Zeitzyklus, außer wenn keine geringere Kriechgeschwindigkeit in der Konstruktion festgelegt ist. Die am Nagelkopf gemessene Verlängerung beträgt bei der Prüflast nicht weniger als die erwartete elastische Verlängerung einer beliebigen ungebundenen Länge des Prüfnagels L_{db} .	Das Ergebnis der Prüfung von Ausführungsnägeln ist unter der Voraussetzung annehmbar, dass die Kriechgeschwindigkeit bei der größten Prüflast P_p kleiner ist als 2 mm je logarithmischem Zeitzyklus, außer wenn keine geringere Kriechgeschwindigkeit in der Konstruktion festgelegt ist. Die am Nagelkopf gemessene Verlängerung beträgt bei der Prüflast nicht weniger als die erwartete elastische Verlängerung einer beliebigen ungebundenen Länge des Prüfnagels L_{db} .

ANMERKUNG Die Kriechgeschwindigkeit ist festgelegt als $(s_2 - s_1) / \log_{10}(t_2/t_1) < 2\text{mm}$, wobei s_1 und s_2 die gemessenen Nagelverschiebungen zum Zeitpunkt 1 bzw. 2 sind.

C.3.4 Statische Lastprüfung — Durchführung der Prüfung von Opfernägeln

C.3.4.1 Allgemeines

C.3.4.1.1 Die Prüfung von Opfernägeln ist eine Prüfung, bei der eine axiale Last auf einen Bodennagel schrittweise bis zum Erreichen der Prüflast P_p aufgebracht wird, um zu bestätigen, dass eine bestimmte Bodennagelkonstruktion unter bestimmten Baugrundbedingungen angemessen ist. Das umfasst gewöhnlich die Belastung des Prüfnagels bis zum Versagen oder bis zum Erreichen des bei der Bemessung erwarteten charakteristischen Widerstandswertes. Vorschläge für die Häufigkeit von Prüfungen von Opfernägeln sind in Tabelle 2 von 9.3 aufgeführt.

C.3.4.1.2 Jede Last wird über einen festgelegten Zeitraum konstant gehalten. Die Prüfung umfasst die Messung der Nagelkopfverschiebung im Vergleich zur aufgebrachten Last sowie, für jede oder zumindest eine Laststufe, die Messung der Nagelkopfverschiebung gegenüber der Zeit.

C.3.4.2 Prüfnägel

Die Prüfung von Opfernägeln ist an Opferbodennägeln durchzuführen, die nicht Teil eines tatsächlichen Bauwerkes sind, die vor dem Einbau von Ausführungsnägeln im selben Bereich eingebaut und geprüft werden.

C.3.4.3 Einbauort

C.3.4.3.1 Die Bodenbedingungen am Einbauort der Prüfung müssen für die Bodenbedingungen für Ausführungsnägel repräsentativ sein.

C.3.4.3.2 Bei der Auswahl des Einbauortes für eine Bodennagelprüfung sind die Ergebnisse der Baugrunduntersuchung zu berücksichtigen.

C.3.4.4 Durchführung

C.3.4.4.1 Die Prüfnägel müssen für Ausführungsnägel repräsentativ sein.

C.3.4.4.2 Die Prüfnägel sind unter Anwendung derselben Einbauverfahren wie Ausführungsnägel einzubauen.

C.3.4.4.3 Das für den Einbau der Prüfnägel angewendete Verfahren ist vollständig zu dokumentieren.

ANMERKUNG Die Aufzeichnungen sollten maßgebliche Aspekte des Einbaus, einschließlich Einbauverfahren, Boden- und hydrogeologische Bedingungen und, falls anwendbar, Ergebnisse von Prüfungen und Kontrollen, die am Bodennagelwerkstoff durchgeführt wurden, sowie alle beim Aushub festgestellten Schwierigkeiten enthalten.

C.3.4.4.4 Die Prüfbodennägel sollten dieselbe Neigung wie Ausführungsnägel haben.

Die Prüfbodennägel und alle für die Prüfung erforderlichen Verlängerungsstücke sind so zu bemessen, dass sie den kleineren Wert der folgenden Ungleichungen erfüllen:

$$P_p < 0,80 R_{t,k}$$

$$P_p < 0,95 R_{t0.1,k}$$

Dabei ist

$R_{t,k}$ der charakteristische Wert der strukturellen Zugfestigkeit des Prüfbodennagels oder beliebiger Verlängerungsstücke;

$R_{t0.1,k}$ der charakteristische Wert der 0,1 %-Streckgrenze des Prüfbodennagels oder beliebiger Verlängerungsstücke;

P_p die größte Prüflast (Prüfkraft), der der Prüfbodennagel ausgesetzt wird.

C.3.4.5 Zeitpunkt der Prüfung

Zwischen dem Einbau eines Prüfbodennagels und dem Beginn der Prüfung muss eine angemessene Zeit eingeplant sein, um sicherzustellen, dass die erforderliche Festigkeit der Bodennagelwerkstoffe erreicht wird.

ANMERKUNG Eine angemessene Zeit ist z. B. vom Wetter, dem Zustand des Bodens und den Bestandteilen des Einpressmittels abhängig.

C.3.4.6 Durchführung der Prüfung

C.3.4.6.1 Vorbereitung der Prüfung

a) Vor Beginn der Prüfung muss die Vorbereitung mindestens Folgendes umfassen:

- 1) Einbau von Messgeräten und Überprüfung ihres ordnungsgemäßen und sicheren Betriebs;
- 2) Einrichten eines Sicherheitsbereiches um den Prüfnagel herum;
- 3) Einbau des Belastungssystems und Überprüfung seines ordnungsgemäßen und sicheren Betriebs (z. B. ist zu überprüfen, ob sich die Belastungseinrichtung in der Achse des Prüfnagels befindet);

b) Das Verschiebungs-Bezugssystem ist so anzuordnen, dass es bei einer beliebigen Verschiebung des Reaktionssystems nicht beeinträchtigt wird und es ist vor klimatischen Auswirkungen zu schützen.

C.3.4.6.2 Größte Prüflast

Die größte Prüflast P_p ist vor der Prüfung bei der Bemessung festzulegen.

C.3.4.6.3 Bezugslast

Eine Bezugslast P_0 ist aufzubringen. Diese Last darf $0,10 P_p$ nicht überschreiten.

C.3.4.6.4 Belastungsverfahren

- a) Ein vorgeschlagenes Verfahren zur Durchführung von statischen Lastprüfungen kann wie folgt beschrieben werden:
 - 1) nach Aufbringen der Bezugslast P_0 wird die Anfangsverschiebung s_0 aufgezeichnet;
 - 2) die Last wird dann allmählich und stufenweise bis zur größten Zyklus- oder Prüflast erhöht oder bis Ausziehversagen bei R_t auftritt. Die maximale Stufengröße sollte ausreichen, um die Form der Lastverschiebungskurve festzulegen und sollte üblicherweise 20 % der größten Zykluslast nicht überschreiten;
 - 3) nach dem Anlegen jeder Laststufe wird die Last konstant gehalten bis sich die Nagelverschiebung stabilisiert; d. h. die Verschiebung zwischen zwei aufeinander folgenden Ablesezeiten ($s_1 - s_2$) beträgt weniger als 0,5 mm, mit den Ablesezeiten $t = 0, 1, 2, 5, 10, 15, 20$ min.
- b) Wenn keine Stabilisierung erreicht wurde, sollte der Nagel bis zur nächsten Laststufe belastet werden, um zu versuchen, eine Stabilisierung der Verschiebung herbeizuführen. Dafür gibt es zwei Gründe:
 - 1) bei vollständig eingebundenen Prüfnägeln (d. h. selbstbohrenden Hohlstäben) ist zur Aktivierung der Last im passiven (stabilen) Bereich eine schrittweise Lösung der Einbindung während der Belastung des Nagels im aktiven Keilbereich hervorzurufen, damit die Prüflast direkt in den stabilen Bereich übertragen wird;
 - 2) eine Lösung der Einbindung im Keilbereich mit Haltedauern bis 60 min würde viele Tage dauern;
- c) falls bei irgendeiner Laststufe der Nagel die angelegte Last nicht aufnehmen und das Bewegungskriterium von 0,5 mm nicht erreicht werden kann, sollte keine weitere Last angelegt werden und die Restlast im Nagel sollte aufgezeichnet werden (dieser Wert repräsentiert im Allgemeinen die Grenzausziehkraft R_t);
- d) bei Erreichen entweder der größten Zykluslast, R_t oder P_p und Einhalten der Haltedauer, muss der Prüfnagel bis auf die Bezugslast P_0 entlastet und die Restsetzung s_r dokumentiert werden; falls erforderlich, können weitere Lastzyklen durchgeführt werden;
- e) Es ist freigestellt, die Prüfung als Prüfung mit einem einzigen Zyklus oder mit zwei Zyklen durchzuführen. Bei Durchführung der Prüfung als Prüfung in zwei Prüfzyklen sollte die Last im ersten Zyklus den bei der Bemessung vorausgesetzten charakteristischen Wert für die Last nicht überschreiten.
- f) Wenn selbstbohrende Hohlstäbe (die unter gleichzeitigem Bohren und Einpressen eingebaut werden) nicht in der Lage sind, 0,5 mm unter einer angelegten Last standzuhalten, bedeutet das nicht unbedingt, dass die Grenzausziehlast erreicht wurde, weil es zur Aktivierung der Last im passiven (stabilen) Bereich oftmals notwendig ist, die Einbindung im aktiven Bereich zu lösen, um eine Belastung des stabilen Bereiches zu erreichen.

C.3.4.6.5 Messungen und Kontrollen

- a) Vor Beginn der Prüfung ist sicherzustellen, dass die Messungen nicht durch Quellen von außen beeinträchtigt werden können. Die ordnungsgemäße Funktionsweise der Messgeräte ist zu überprüfen.
- b) Zur Durchführung einer Prüfung von Opfernägeln ist das folgende Messverfahren zu befolgen:
 - 1) falls notwendig ist nach Aufbringen der Bezugslast P_0 die Anfangsverschiebung s_0 aufzuzeichnen;
 - 2) in der Belastungsphase sind die Last und die Nagelkopfverschiebung, falls notwendig bei jeder Laststufe, mindestens zu den aufeinander folgenden Überwachungszeiten (in Minuten) wie unten angegeben aufzuzeichnen:

1→(2)→(3)→(4)→(5)→(7)→(10)→(15)→(20)

ANMERKUNG Die erforderliche Prüfungsdauer wird durch nationale Bestimmungen festgelegt.

- 3) in der Entlastungsphase sind die Last und die Nagelkopfverschiebung mindestens am Ende jeder Stufe und 5 min nach der Gesamtentlastung aufzuzeichnen;
 - 4) falls zutreffend ist die Verschiebung des Reaktionssystems mindestens am Ende jeder Laststufe aufzuzeichnen;
- c) bei jeder Laststufe sind die Belastungs- und Reaktionseinrichtungen einer Sichtprüfung zu unterziehen, um einen möglichen Abbau festzustellen;
 - d) bei jeder Last muss die Standsicherheit der Anlage sichergestellt werden.

C.3.4.6.6 Ergebnisse der Prüfung

- a) Auf der Grundlage der erfassten Daten sind mindestens die folgenden Zusammenhänge graphisch darzustellen:
 - 1) graphische Darstellung der Bodennagelkopfverschiebung im Vergleich zur Last am Ende jeder Laststufe;
 - 2) und, falls zutreffend, ebenfalls graphische Darstellung der Bodennagelkopfverschiebung gegenüber der Zeit für jede Laststufe;
- b) Das Ergebnis der Prüfung von Opfernägeln ist unter der Voraussetzung annehmbar, dass
 - 1) die Kriechgeschwindigkeit bei der größten Prüflast P_p kleiner ist als 2 mm je logarithmischem Zeitzyklus, außer wenn keine geringere Kriechgeschwindigkeit in der Konstruktion festgelegt ist;
 - 2) die am Nagelkopf gemessene Verlängerung bei der Prüflast nicht weniger als die erwartete elastische Verlängerung einer beliebigen ungebundenen Länge des Prüfnagels L_{db} beträgt.

C.3.5 Statische Lastprüfung – Durchführung der Prüfung von Ausführungsnägeln

C.3.5.1 Allgemeines

Eine Prüfung von Ausführungsnägeln wird angewendet um nachzuweisen, dass die Einbauverfahren für Ausführungsbodennägel und die vorhandenen Baugrundbedingungen dazu führen, dass die Bodennägel unter der Prüflast zufrieden stellende Lastverschiebungseigenschaften aufweisen. Die Prüflast sollte in Übereinstimmung mit der Bemessung festgelegt werden. Vorschläge für die Häufigkeit von Annahmeprüfungen sind in 9.3, Tabelle 2 aufgeführt.

C.3.5.2 Prüfnägel

Eine Prüfung von Ausführungsnägeln ist an Ausführungsnägeln durchzuführen.

C.3.5.3 Zeitpunkt der Prüfung

Zwischen dem Einbau der Prüfbodennägel und dem Beginn der Prüfung muss eine angemessene Zeit eingeplant sein, um sicherzustellen, dass die erforderliche Festigkeit der Bodennagelwerkstoffe erreicht wird.

ANMERKUNG Eine angemessene Zeit ist z. B. vom Wetter, dem Zustand des Bodens und den Bestandteilen des Einpressmittels abhängig.

C.3.5.4 Durchführung der Prüfung

C.3.5.4.1 Vorbereitung der Prüfung

- a) Vor Beginn der Prüfung muss die Vorbereitung mindestens Folgendes umfassen:
- 1) Einbau von Messgeräten und Überprüfung ihres ordnungsgemäßen und sicheren Betriebs;
 - 2) Einrichten eines Sicherheitsbereiches um den Prüfnagel herum;
 - 3) Einbau des Belastungssystems und Überprüfung seines ordnungsgemäßen und sicheren Betriebs (z. B. ist zu überprüfen, ob sich die Belastungseinrichtung in der Achse des Prüfnagels befindet);
- b) Das Verschiebungs-Bezugssystem ist so anzuordnen, dass es bei einer beliebigen Verschiebung des Reaktionssystems nicht beeinträchtigt wird und es ist vor klimatischen Auswirkungen zu schützen.

C.3.5.4.2 Prüflast

Die Prüflast P_p ist bei der Bemessung festzulegen.

C.3.5.4.3 Bezugslast

Eine Bezugslast P_0 ist aufzubringen. Diese Last darf $0,10 P_p$ nicht überschreiten.

C.3.5.4.4 Belastungsverfahren

Das Belastungsverfahren nach C.3.4.6.4 kann sowohl bei der Prüfung von Ausführungsnägeln als auch bei der Prüfung von Opfernägeln angewendet werden. Bei Prüfung von Ausführungsnägeln ist der Lastzyklus freigestellt.

C.3.5.4.5 Messungen und Kontrollen

Die Messungen und Kontrollen nach C.3.4.6.5 können sowohl bei der Prüfung von Ausführungsnägeln als auch bei der Prüfung von Opfernägeln angewendet werden.

C.3.5.4.6 Ergebnisse der Prüfungen

Die Prüfungsergebnisse sind nach C.3.4.6.6 graphisch darzustellen.

C.4 Prüfberichte

C.4.1 Prüfung von Ausführungsnägeln

- a) Der Prüfbericht muss folgende Mindestangaben enthalten:

- 1) Verweis auf alle zutreffenden Normen;
 - 2) die folgenden Festlegungen bezüglich des Prüfnagels:
 - i) Lage und Art des Bodennagels;
 - ii) Datum des Einbaus;
 - iii) Beobachtungen in Bezug auf den Einbau des Bodennagels, die die Prüfergebnisse möglicherweise beeinflussen;
 - iv) geometrische Angaben zum Bodennagel und mechanische Eigenschaften des Bodennagelwerkstoffs;
 - v) Niveau seiner Oberkante, seines Fußes und des Baugrundes um ihn herum;
 - 3) die folgenden Faktoren bezüglich der Bodennagelprüfung:
 - i) Verweis auf den Prüfer, der die Prüfung durchgeführt hat;
 - ii) Datum der Prüfung;
 - iii) Wert der vorgeschriebenen größten Last;
 - 4) falls zutreffend, die folgenden Prüfergebnisse auf der Grundlage der erfassten Daten:
 - i) graphische Darstellung der Nagelkopfverschiebung im Vergleich zur Nagellast;
 - ii) graphische Darstellung der Nagelkopfverschiebung gegenüber der Zeit bei der größten Last.
- b) Tabellen mit den numerischen Werten der erfassten Daten sind in den Anhängen zum Prüfbericht aufzuführen.

C.4.2 Prüfung von Opfernägeln

Bei der Prüfung von Opfernägeln sollte der Prüfbericht zusätzlich zu den im Prüfbericht für die Prüfung von Ausführungsnägeln enthaltenen Angaben mindestens folgende Informationen enthalten:

- a) die folgenden Faktoren bezüglich der Bodenbedingungen:
 - 1) Lage der nächstgelegenen geotechnischen Untersuchungsprofile;
 - 2) Verweis auf den Baugrunduntersuchungsbericht;
- b) die folgenden Faktoren bezüglich der Nagelprüfung:
 - 1) Eigenschaften des Belastungssystems;
 - 2) Beschreibung aller Überwachungssysteme und ihrer Bestandteile;
 - 3) Skizze der Messgeräte des Prüfnagels;
 - 4) Beobachtungen bezüglich des Aushubes für die Prüfung, die möglicherweise die Ergebnisse beeinflussen können;
- c) falls zutreffend die folgenden Prüfergebnisse auf der Grundlage der erfassten Daten:

- 1) graphische Darstellung der Nagelkopfverschiebung im Vergleich zur Bodennagellast am Ende jeder Laststufe;
- 2) graphische Darstellung der Nagelkopfverschiebung gegenüber der Zeit für jede Laststufe;
- 3) Auszieh Widerstand des Bodennagels;
- 4) graphische Darstellung des Lastverlustes gegenüber der Zeit für jede Laststufe und nach Abschaltung;
- 5) graphische Darstellung des Lastverlustes gegenüber der Bodennagellast;
- 6) graphische Darstellung der elastischen und plastischen Verformungen gegenüber der Bodennagellast;
- 7) graphische Darstellung des Verformungsanstiegs gegenüber der Anzahl der Zyklen.

Anhang D (informativ)

Grad der Verbindlichkeit der Festlegungen

Die Festlegungen sind entsprechend ihres Grades der Verbindlichkeit gekennzeichnet:

- (REQ): Anforderung (en: requirement);
(REC): Empfehlung (en: recommendation);
(PER): Genehmigung (en: permission);
(POS): Möglichkeit (en: possibility);
(ST): Erklärung (en: statement).

1 Anwendungsbereich

1.1 – 1.6 Bestimmungen

2 Normative Verweisungen

Auflistung

3 Begriffe und Symbole

3.1.1 – 3.1.20 Auflistung

3.2 Auflistung

4 Für die Ausführung der Arbeiten notwendige Informationen

4.1 Allgemeines

4.1.1 (REQ)

4.1.2 (REQ)

4.2 Besondere Eigenschaften

4.2.1 (REQ)

4.2.2 (REQ)

4.2.3 (REQ)

5 Geotechnische Untersuchung

5.1 Allgemeines

5.1.1 (REQ)
5.1.2 (REQ)
5.1.3 (REQ)
5.1.4 (REQ)

5.2 Besondere Anforderungen an die Bodenvernagelung

5.2.1 (REQ)
5.2.2 (REQ)
5.2.3 (REC)
5.2.4 (REC)
5.2.5 (REQ)

6 Werkstoffe und Produkte

6.1 Allgemeines

6.1.1 (POS)
6.1.2 (REQ)
6.1.3 (REQ)
6.1.4 (REQ)
6.1.5 (REQ)
6.1.6 (PER)

6.2 Bodennagelsysteme

6.2.1 Allgemeines

PER

6.2.2 Bewehrung

6.2.2.1 Allgemeines

6.2.2.1.1 (ST)
6.2.2.1.2 (PER)
6.2.2.1.3 (REQ)

6.2.2.2 Metallische Bewehrung

6.2.2.2.1 (REQ)
6.2.2.2.2 (REQ)
6.2.2.2.3 (REC)
6.2.2.2.4 (REQ)
6.2.2.2.5 (REQ)
6.2.2.2.6 (REQ)

6.2.2.3 Nichtmetallische Bewehrung

6.2.2.3.1 (PER)
6.2.2.3.2 (REQ)

6.2.2.4 Fugen und Verbindungen

6.2.2.4.1 (POS)
6.2.2.4.2 (REQ)

6.2.3 Einpressmittel

6.2.3.1 (REQ)
6.2.3.2 (REQ)
6.2.3.3 (REC)
6.2.3.4 (PER)
6.2.3.5 (REC)
6.2.3.6 (PER)
6.2.3.7 (REC)

6.2.4 Hüllrohre und Schutzkanäle

(REQ)

6.3 Frontausbildungssysteme

6.3.1 Allgemeines

6.3.1.1 (REC)
6.3.1.2 (REQ)
6.3.1.3 (REQ)
6.3.1.4 (REQ)
6.3.1.5 (REQ)
6.3.1.6 (REC)

DIN EN 14490:2010-11
EN 14490:2010 (D)

6.3.2 Paneele und Blöcke (üblicherweise aus Fertigbeton)

6.3.2.1 (REC)
6.3.2.2 (REQ)
6.3.2.3 (REQ)

6.3.3 Spritzbeton und Ortbeton

6.3.3.1 (REQ)
6.3.3.2 (PER)
6.3.3.3 (REQ)
6.3.3.4 (REQ)

6.3.4 Maschenfrontausbildung

6.3.4.1 (REQ)
6.3.4.2 (REQ)
6.3.4.3 (REQ)
6.3.4.4 (REQ)

6.3.5 Weitere Werkstoffe

6.3.5.1 (REQ)
6.3.5.2 (REQ)

6.4 Drainagesysteme

(REQ)
Anmerkung

7 Bemessungskriterien

7.1 Allgemeines

7.1.1 (ST)
7.1.2 (REQ)
7.1.3 (REQ)
7.1.4 (REQ)
7.1.5 (REQ)
7.1.6 (REQ)
7.1.7 (REQ)
7.1.8 (REC)
7.1.9 (REC)

7.2 Auslegungsplanung

7.2.1 (REC)
7.2.2 (REC)
7.2.3 (REQ)
7.2.4 (REQ)
7.2.5 (REQ)
7.2.6 (REQ)

7.3 Auslegungsänderungen

7.3.1 (PER)
7.3.2 (REQ)
7.3.3 (REQ)

8 Ausführung

8.1 Allgemeines

8.1.1 (POS)
8.1.2 (REQ)
8.1.3 (POS)

8.2 Vorarbeiten

(POS)

8.3 Aushub/Frontausbildungsvorbereitung

8.3.1 (REQ)
8.3.2 (PER)
8.3.3 (POS)
8.3.4 (PER)
8.3.5 (REC)
8.3.6 (REC)
8.3.7 (REC)
8.3.8 (REQ)
8.3.9 (REQ)
8.3.10 (REQ)
8.3.11 (PER)
8.3.12 (REQ)
8.3.13 (REQ)
8.3.14 (REQ)
8.3.15 (REC)

8.4 Nageleinbau

8.4.1 Allgemeines

8.4.1.1 (POS)
8.4.1.2 (REQ)
8.4.1.3 (REQ)
8.4.1.4 (REQ)
8.4.1.5 (REQ)
8.4.1.6 (REQ)
8.4.1.7 (REQ)
8.4.1.8 (REQ)

8.4.2 Einbauverfahren durch Rammen

8.4.2.1 (PER)
8.4.2.2 (REQ)

8.4.3 Einbauverfahren durch Bohren

8.4.3.1 Allgemeines

8.4.3.1.1 (POS)
8.4.3.1.2 (REQ)
8.4.3.1.3 (REQ)
8.4.3.1.4 (PER)
8.4.3.1.5 (REQ)

8.4.3.2 Unverrohrtes Lochbohren

8.4.3.2.1 (POS)
8.4.3.2.2 (REC)
8.4.3.2.3 (REC)
8.4.3.2.4 (REC)

8.4.3.3 Verrohrtes Lochbohren und Bohren mit Hohlbohrschnecken

8.4.3.3.1 (REC)
8.4.3.3.2 (PER)
8.4.3.3.3 (REC)
8.4.3.3.4 (REQ)

8.4.3.4 Selbstbohrende Hohlstab-Bodennägel

8.4.3.4.1 (ST)
8.4.3.4.2 (REC)
8.4.3.4.3 (REQ)
8.4.3.4.4 (REQ)
8.4.3.4.5 (REQ)

8.4.4 Einpressverfahren

8.4.4.1 Allgemeines

8.4.4.1.1 (PER)
8.4.4.1.2 (PER)
8.4.4.1.3 (PER)
8.4.4.1.4 (REC)
8.4.4.1.5 (REC)
8.4.4.1.6 (REC)
8.4.4.1.7 (PER)

8.4.4.2 Schwerkrafteinpressen

8.4.4.2.1 (ST)
8.4.4.2.2 (REC)

8.4.4.3 Druckeinpressen

8.4.4.3.1 (POS)
8.4.4.3.2 (POS)
8.4.4.3.3 (PER)
8.4.4.3.4 (REC)
8.4.4.3.5 (PER)

8.4.5 Weitere Nageleinbauverfahren

8.4.5.1 (REQ)
8.4.5.2 (REQ)

8.5 Einbau von Drainagesystemen

8.5.1 Allgemeines

8.5.1.1 (REQ)
8.5.1.2 (REQ)
8.5.1.3 (REC)
8.5.1.4 (POS)
8.5.1.5 (REQ)
8.5.1.6 (REC)

8.5.2 Oberflächenentwässerung

8.5.2.1 (REQ)
8.5.2.2 (REC)
8.5.2.3 (REC)
8.5.2.4 (REC)
8.5.2.5 (POS)
8.5.2.6 (REC)

8.5.3 Entwässerung der Frontausbildung

8.5.3.1 (ST)
8.5.3.2 (REC)
8.5.3.3 (REQ)
8.5.3.4 (REQ)

8.5.4 Unterirdische Drainage

8.5.4.1 (REC)
8.5.4.2 (REQ)
8.5.4.3 (REQ)
8.5.4.4 (REQ)
8.5.4.5 (REQ)
8.5.4.6 (REQ)

8.5.5 Drainagesysteme

(REC)

8.6 Einbau der Frontausbildung und Verbindung mit Nagelköpfen

8.6.1 Starre Frontausbildung

8.6.1.1 (PER)
8.6.1.2 (REQ)
8.6.1.3 (PER)
8.6.1.4 (PER)
8.6.1.5 (REC)

8.6.2 Bedingt nachgiebige Frontausbildung

8.6.2.1 (REQ)
8.6.2.2 (REQ)
8.6.2.3 (REC)

8.6.3 Weiche Frontausbildung

8.6.3.1 (REQ)
8.6.3.2 (REQ)
8.6.3.3 (PER)
8.6.3.4 (REQ)
8.6.3.5 (REQ)
8.6.3.6 (REC)
8.6.3.7 (POS)
8.6.3.8 (REC)

8.6.4 Keine Änderungen an der vorhandenen Oberfläche

8.6.4.1 (POS)
8.6.4.2 (REQ)
8.6.4.3 (REC)

9 Bauaufsicht, Prüfung und Überwachung

9.1 Allgemeines

9.1.1 (REQ)
9.1.2 (REQ)
9.1.3 (REQ)
9.1.4 (REQ)

9.2 Bauaufsicht

9.2.1 (REQ)
9.2.2 (REQ)
9.2.3 (POS)

9.3 Prüfung

9.3.1 (POS)

9.3.2 Bodennagellastprüfungen

9.3.2.1 (REC)
9.3.2.2 (ST)
9.3.2.3 (PER)
9.3.2.4 (REC)
9.3.2.5 (REQ)
9.3.2.6 (REC)

9.3.3 Werkstoffprüfungen

9.3.3.1 (ST)
9.3.3.2 (REQ)
9.3.3.3 (REC)
9.3.3.4 (REQ)
9.3.3.5 (REQ)

9.3.4 Prüfungen der Standfestigkeit der Frontausbildung

9.3.4.1 (REC)
9.3.4.2 (REC)
9.3.4.3 (REC)

9.4 Überwachung während der Bauarbeiten

9.4.1 (REQ)
9.4.2 (ST)
9.4.3 (REC)
9.4.4 (REQ)
9.4.5 (REQ)
9.4.6 (REC)

9.5 Maßnahmen zur Unterstützung einer langfristigen Überwachung

9.5.1 (REC)
9.5.2 (REQ)
9.5.3 (PER)
9.5.4 (REQ)
9.5.5 (REQ)

DIN EN 14490:2010-11
EN 14490:2010 (D)

10 Aufzeichnungen

10.1 (REQ)
10.2 (REQ)
10.3 (REQ)
10.4 (REQ)
10.5 (REC)
10.6 (REQ)

11 Besondere Anforderungen

11.1 Allgemeines

(REQ)

11.2 Lärm

11.2.1 (REQ)
11.2.2 (REQ)
11.2.3 (REC)
11.2.4 (POS)

11.3 Umweltschäden

(REQ)

Literaturhinweise

- [1] EN 445, *Einpressmörtel für Spannglieder — Prüfverfahren*
- [2] EN 446, *Einpressmörtel für Spannglieder — Einpressverfahren*
- [3] EN 447, *Einpressmörtel für Spannglieder — Allgemeine Anforderungen*
- [4] EN 14199, *Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau — Pfähle mit kleinen Durchmessern (Mikropfähle)*
- [5] EN 1990, *Eurocode — Grundlagen der Tragwerksplanung*
- [6] EN 1991 (alle Teile), *Eurocode 1 — Einwirkungen auf Tragwerke*