

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).

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 Erdsicherungskonstruktionen, 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 Bodennagelungskonstruktion 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 Opfernägel, 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 Bodenvernagelungswerkstoffs 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 duktilen 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, Frostaufruch, 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, Dreh-schlagbohrens 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 Ausspülmittel 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 gleichzeitiges 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 geregelt entsorgt 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 eingeramnten 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 Einpressdrehzscheibe, 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.