

DIN EN 16907-4

ICS 93.020

**Erdarbeiten –
Teil 4: Bodenbehandlung mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln;
Deutsche Fassung EN 16907-4:2018**

Earthworks –

Part 4: Soil treatment with lime and/or hydraulic binders;

German version EN 16907-4:2018

Terrassements –

Partie 4: Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques;

Version allemande EN 16907-4:2018

Gesamtumfang 102 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 16907-4:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 396 „Erdarbeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 005-05-22 AA „Erdarbeiten (SpA zu CEN/TC 396 und CEN/TC 396/WG 1 bis WG 8), Gemeinschaftsausschuss mit FGSV“ im DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau).

Deutsche Fassung

Erdarbeiten - Teil 4: Bodenbehandlung mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln

Earthworks - Part 4: Soil treatment with lime and/or hydraulic binders

Terrassements - Partie 4: Traitement des sols à la chaux et/ou aux liants hydrauliques

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 14. Mai 2018 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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum 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, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	7
Einleitung	8
1 Anwendungsbereich	10
2 Normative Verweisungen	10
3 Begriffe	12
4 Symbole und Abkürzungen	15
5 Bestandteile	16
5.1 Materialien	16
5.1.1 Allgemeines	16
5.1.2 Natürliche Böden und bearbeitete Gesteinskörnungen	16
5.1.3 Brüchiger, mittelfester und fester Fels und Kreide	16
5.1.4 Rezyklierte Baustoffe	16
5.1.5 Industriell hergestellte Materialien	16
5.2 Bindemittel	17
5.2.1 Zement	17
5.2.2 Flugasche	17
5.2.3 Schlacke	17
5.2.4 Hydraulischer Tragschichtbinder	17
5.2.5 Kalk	17
5.2.6 Mischbindemittel	17
5.3 Wasser	17
5.4 Sonstige Bestandteile	17
6 Boden-Bindemittel-Gemische	17
6.1 Allgemeines	17
6.2 Dosierung der Bestandteile	18
7 Ablauf der Laborprüfungen	18
7.1 Allgemeines	18
7.2 Untersuchung der Ausgangsstoffe	18
7.2.1 Untersuchung des zu behandelnden Bodens	18
7.2.2 Untersuchung des Bindemittels	18
7.3 Machbarkeit der Behandlung	19
7.4 Verarbeitbarkeitsdauer	19
7.5 Eigenschaften für die Ausführung	19
7.5.1 Verbesserung	19
7.5.2 Stabilisierung	20
7.6 Mechanisches Gebrauchsverhalten	20
7.6.1 Nachbehandlungsbedingungen	20
7.6.2 Feuchtebeständigkeit	20
7.6.3 Beständigkeit bei unmittelbarem Befahren durch Baufahrzeuge	21
7.6.4 Frostbeständigkeit	21
7.6.5 Prüfungen zur Klassifizierung des Gebrauchsverhaltens	21
7.6.6 Sonstige Prüfungen des Gebrauchsverhaltens	21
7.7 Herstellung der Probekörper	21
7.7.1 Korngröße des Materials	21

7.7.2	Herstellung der Gemische	22
7.7.3	Maße der Probekörper	22
7.7.4	Verdichtungsverfahren	22
7.7.5	Nachbehandlung	22
7.8	Umfang der Laboruntersuchungen	23
7.8.1	Allgemeines	23
7.8.2	Untersuchung der Bestandteile	23
7.8.3	Verbesserung	23
7.8.4	Stabilisierung	23
7.9	Laborprüfbericht	25
8	Klassifizierung des Gebrauchsverhaltens der Gemische	25
8.1	Allgemeines	25
8.2	Verbesserung	26
8.2.1	Allgemeines	26
8.2.2	Direkter Tragindex	26
8.2.3	Anforderung an den Wassergehalt	26
8.2.4	Verdichtungsgrad	27
8.2.5	Schwellen	27
8.3	Stabilisierung	27
8.3.1	Anforderungen an das frische Gemisch	27
8.3.2	Klassifizierung des im Labor bestimmten mechanischen Gebrauchsverhaltens	30
8.3.3	Feuchtebeständigkeit	35
8.3.4	Beständigkeit bei unmittelbarem Befahren durch Baufahrzeuge	37
8.3.5	Frostbeständigkeit	37
8.3.6	Sonstiges Gebrauchsverhalten	37
9	Ausführung und Kontrolle	37
9.1	Einleitung	37
9.1.1	Allgemeines	37
9.1.2	Grundvoraussetzungen	37
9.2	Bautechnische Vorprüfung	38
9.2.1	Allgemeines	38
9.2.2	Felduntersuchungen	38
9.2.3	Sulfide, Sulfate, organische Bestandteile und andere schädliche Stoffe	39
9.2.4	Einflussparameter	39
9.2.5	Vorprüfungen im Labor	39
9.3	Bindemittel	39
9.4	Typen von Anlagen zur Bodenbehandlung	40
9.5	Bodenverbesserung	40
9.5.1	Allgemeines	40
9.5.2	Eignung der Materialien für eine Verbesserung	40
9.5.3	Verbesserung während des Aushubs	41
9.5.4	Verbesserung im Aufschüttbereich	41
9.5.5	Streuen des Bindemittels	41
9.5.6	Baumischverfahren	41
9.5.7	Verdichtung	41
9.5.8	Schutzmaßnahmen	42
9.5.9	Gesichtspunkte hinsichtlich klimatischer Bedingungen	42
9.6	Bodenstabilisierung	42
9.6.1	Allgemeines	42
9.6.2	Eignung der Materialien für eine Stabilisierung	43
9.6.3	Aufbereitung des Bodens	43
9.6.4	Prozesse bei der Stabilisierung von Planumsschichten und Dämmen	44
9.6.5	Sonstige Anwendungen	47
9.6.6	Grenzflächen von Schichten und Organisation der Arbeiten	47

9.7	Prüfung und Übereinstimmung.....	47
9.7.1	Festlegung der Anforderungen.....	47
9.7.2	Übereinstimmungsprüfungen und Prüfberichte.....	48
9.7.3	Abschlussberichte	49
9.8	Klima- und Umgebungsbedingungen	51
Anhang A (informativ) Herstellung von Probekörpern für die Prüfung behandelter Materialien.....		52
A.1	Einleitung	52
A.2	Probenahme	52
A.3	Wassergehalt.....	52
A.4	Maximale Korngröße	52
A.5	Behandlung.....	53
A.5.1	Allgemeines	53
A.5.2	Mischen	54
A.5.3	Zweistufige Bodenbehandlung.....	54
A.6	Reaktionszeit und Verdichtung des behandelten Materials in der Probekörperform.....	54
A.7	Nachbehandlung und Lagerung.....	55
A.7.1	Allgemeines	55
A.7.2	Lagerung unter Bedingungen, die eine Verdunstung verhindern.....	55
A.7.3	Behandlung mit vollständigem Wasseransaugen	55
A.7.4	Lagerung unter Bedingungen, die eine Verdunstung verhindern und anschließend Ansaugen von Wasser	56
A.8	Entnahme des Probekörpers aus der Form.....	56
A.9	Prüfbericht.....	56
Anhang B (informativ) Lastrate für die Prüfungen zur Bestimmung der Festigkeit und des Elastizitätsmoduls		58
Anhang C (informativ) Zerstörungsfreie Prüfung zur Messung des mechanischen Gebrauchsverhaltens — Seismisches Verfahren		60
C.1	Einleitung	60
C.2	Anwendungsbereich.....	60
C.3	Prüfgerät.....	60
C.4	Definitionen und theoretischer Verfahrensansatz	61
C.4.1	Eigenresonanzfrequenz	61
C.4.2	Dämpfung	61
C.4.3	Gedämpfte Resonanzfrequenz.....	61
C.4.4	Scherwellengeschwindigkeit und Schermodul.....	61
C.4.5	Kompressionswellengeschwindigkeit und dynamischer Elastizitätsmodul.....	62
C.4.6	Poissonzahl	62
C.5	Grundsatz des Verfahrens	62
C.6	Bedeutung und Anwendung	63
C.7	Messverfahren	63
C.7.1	Herstellung der Probekörper.....	63
C.7.2	Messanordnung.....	63
C.8	Verweisungen	65
Anhang D (informativ) Beispiel für die Bewertung des veränderlichen Gebrauchsverhaltens von behandelten Böden infolge von Veränderungen beim Schichteinbau — Einstellung des Bindemittelanteils und Ausgleichsverfahren		66
Anhang E (informativ) Beispiele für das Klassifizierungsalter und für Nachbehandlungsschemata zur Prüfung des mechanischen Gebrauchsverhaltens von behandelten Materialien für Erdarbeiten		69
Anhang F (informativ) Zusätzliche Merkmale des Gebrauchsverhaltens behandelter Materialien.....		70

Anhang G (informativ) Labor- und Feldverfahren zur Identifizierung von typischen Sulfid- und Sulfatmineralen.....	71
G.1 Identifizierung im Feld.....	71
G.1.1 Pyrit (FeS_2 — Eisensulfid)	71
G.1.2 Markasit (FeS_2 — Eisensulfid)	71
G.1.3 Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ — Calciumsulfat).....	71
G.2 Identifizierung im Labor.....	71
G.2.1 Allgemeines	71
G.2.2 Sulfidminerale	71
G.2.3 Sulfatminerale	72
G.3 Verweisungen	72
Anhang H (informativ) Anlagentypen für die Bodenbehandlung	73
H.1 Allgemeines	73
H.2 Anlagen zur Bindemittellagerung	73
H.3 Bindemittelstreuer	74
H.4 Anlagen zur Bodenaufbereitung.....	74
H.5 Mischanlagen für das Baumischverfahren.....	75
H.6 Feststehende oder versetzbare Aufbereitungsanlagen für das Zentralmischverfahren.....	76
H.6.1 Allgemeines	76
H.6.2 Einfülltrichter	77
H.6.3 Auslauftrichter	77
H.6.4 Silos.....	77
H.6.5 Mischer	77
H.6.6 Wassertank.....	77
H.6.7 Fördereinrichtungen.....	78
H.6.8 Steuer- und Überwachungseinheit	78
H.6.9 Kalibrierung der Anlage	78
H.7 Wassertankwagen.....	78
H.8 Verdichtungsgerät.....	79
Anhang I (informativ) Behandlungsabfolge und Verfahren	80
Anhang J (informativ) Sonstige Anwendungsbereiche für stabilisierte Materialien	86
J.1 Allgemeines	86
J.2 Einbau auf begrenztem Raum.....	86
J.3 Bau von unteren Schichten von hohen Dämmen mit wasserempfindlichen Böden oder veränderlich festem Gestein, das zeitweise unter Wasser sein kann	87
J.4 Steil ausgebildete Dammböschungen	87
J.5 Instandsetzung von Böschungen	88
J.6 Bewehrte Böschungen	89
J.7 Fundamente.....	89
J.8 Lastverteilungsschichten.....	89
J.9 Stauanlagen	89
J.10 Verunreinigte Böden	90
Anhang K (informativ) Checkliste für die Stabilisierung.....	91
Anhang L (informativ) Sicherheitsaspekte	94
L.1 Allgemeines	94
L.2 Spezielle Schutzausrüstungen	94
Anhang M (informativ) Klimabedingungen und praktische Überlegungen	95
M.1 Allgemeines	95
M.2 Witterung	95
M.2.1 Allgemeines	95
M.2.2 Temperatur	95
M.2.3 Niederschläge während der Ausführung von Arbeiten.....	95

M.2.4	Wind	95
M.3	Staubemission durch Bindemittel	96
M.3.1	Allgemeines	96
M.3.2	Lagerbereich des Bindemittels.....	96
M.3.3	Behandlungsflächen	96
M.3.4	Empfindliche Standorte.....	96
M.4	Abfluss und Versickerung.....	97
Anhang N (informativ) Verfahren und Diagramme zur Bestimmung der für die Erreichung eines festgelegten IBI-Wertes notwendigen Kalkmenge		98

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 16907-4:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 396 „Erdarbeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2019, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2019 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ist Teil der Normenreihe EN 16907 zu *Erdarbeiten*:

- *Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln*
- *Teil 2: Materialklassifizierung*
- *Teil 3: Ausführung von Erdarbeiten*
- *Teil 4: Bodenbehandlung mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln* (dieses Dokument)
- *Teil 5: Qualitätskontrolle und Überwachung*
- *Teil 6: Landgewinnung mit nassgebagertem Einbaumaterial*
- *Teil 7: Hydraulische Einbringung von mineralischen Abfällen*

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

Einleitung

Im Rahmen der vorliegenden Norm bezeichnet die Behandlung eines Materials den Arbeitsvorgang, der in der nach einer vereinbarten Anforderung durchzuführenden Vermischung des Materials mit einem Bindemittel, wie z.B. mit Kalk oder einem hydraulischen Bindemittel oder mit beidem, und wahlweise mit Wasser besteht. Die Zielsetzung besteht in einer Verbesserung der Eigenschaften von Materialien, die ansonsten für die Verwendung in Erdbauwerken nicht geeignet wären. Sie kann darüber hinaus darin bestehen, die Materialeigenschaften so zu verbessern, dass eine Verwendung des Materials in spezifischen Anwendungen (wie Planumsschichten, Widerlagerhinterfüllungen, Gründungen usw.) möglich wird.

Auch wenn die Technik der Bodenbehandlung schon seit langer Zeit genutzt wird, nahm die Anwendung in einem größeren Maßstab für den Bau von Erdbauwerken erst in den 1960ern ihren Anfang. Seit dieser Zeit wurde die Anwendung der Technik erheblich ausgeweitet, was ihren vielen Vorteilen zuzuschreiben ist, u.a.:

- Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Materials;
- Vermeidung von LKW-Transporten zur Entsorgung von ungeeignetem Baustellenmaterial;
- Verringerung der LKW-Transporte für die Lieferung von Böden;
- Verringerung von Lärm und Belästigungen für die Anwohner;
- verringerter Verschleiß des örtlichen Verkehrsnetzes;
- keine Abgaben für Entsorgung oder Deponierung;
- Erhaltung von Deponieraum;
- keine Verschwendung von wertvollen und nicht erneuerbaren Ressourcen;
- allgemeine Verringerung von Bauzeit und -kosten.

Nach einer vorschriftsmäßigen Behandlung kann das Material in Dämmen und Böschungen, für die Herstellung von Planumsschichten oder anderen Bereichen des Erdbauwerks verwendet werden, wenn es die Anforderungen des Bauvorhabens erfüllt.

Die in dieser Norm berücksichtigten Produkte zur Behandlung sind auf die folgenden genormten Produkte begrenzt: Zement, Flugasche, granuliert Hochofenschlacke, hydraulischer Tragschichtbinder und Kalk.

In dieser Norm werden diese Produkte zur Behandlung als Bindemittel bezeichnet.

In dieser Norm werden Zement, granuliert Hochofenschlacke und hydraulischer Tragschichtbinder als hydraulische Bindemittel bezeichnet.

Flugasche umfasst kieselsäurereiche Flugasche und kalkhaltige Flugasche. Kieselsäurereiche Flugasche benötigt eine Calciumoxidquelle, beispielsweise Kalk oder Zement, damit eine hydraulische Reaktion stattfinden kann. Kalkhaltige Flugasche enthält Calciumoxid und ist mit einem hydraulischen Bindemittel vergleichbar. Für die Anwendung dieser Norm werden beide Arten der Flugasche als hydraulische Bindemittel bezeichnet.

Kalk ist Luftkalk und besitzt keine hydraulischen Eigenschaften. Für die Anwendung dieser Norm wird er als Bindemittel bezeichnet.

Die typischen Anwendungsbereiche der Bindemittel sind folgende:

- Kalk wird in der Regel zur Trocknung nasser Materialien und/oder zur Verbesserung des Gebrauchsverhaltens von bindigen Materialien verwendet;
- hydraulische Bindemittel werden in erster Linie für eine schnelle und wesentliche Verbesserung des mechanischen Gebrauchsverhaltens von nichtbindigen Materialien eingesetzt;
- bei Vorhandensein von bindigen Anteilen und in Abhängigkeit von der Anwendung dürfen Kalk und hydraulische Bindemittel zusammen verwendet werden, in einem zweistufigen Verfahren vor Ort oder als Gemisch, wie beispielsweise ein hydraulischer Tragschichtbinder.

Folgende Materialien werden in dieser Norm berücksichtigt: Böden, brüchiger Fels, mittelfester Fels, Kreide, rezyklierte Materialien und industriell hergestellte Materialien. Es kann sich dabei auch um Gemische dieser unterschiedlichen Baustoffe handeln.

Der Erfolg einer Bodenbehandlung richtet sich nicht nur nach der Erfüllung der Anforderungen, sondern auch nach einer Ausführung entsprechend gängiger Verfahrensweisen, die eng mit den geologischen und klimatischen Verhältnissen vor Ort verknüpft sind. Daher darf, zusätzlich zu den Anforderungen in dieser Norm, auf die am Ort der Verwendung geltenden Leitlinien gängiger Verfahrensweisen Bezug genommen werden. Einige dieser Leitlinien sind als Anmerkungen in dieser Norm enthalten oder finden sich in den Anhängen am Ende dieses Dokuments.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm gilt für die Behandlung mit Bindemitteln von natürlichen Böden, brüchigem Fels, mittelfestem Fels, Kreide, rezyklierten Materialien und industriell hergestellten Materialien für die Ausführung von Erdarbeiten beim Neubau und der Erhaltung von Straßen, Schienenwegen, Flugbetriebsflächen, Flächenbefestigungen, Deichen, Becken und sonstigen Arten von Erdbauwerken.

Die Norm gilt nur für Bodenbehandlungen für Erdbauwerke, die im Baumischverfahren vor Ort oder von einer Mischanlage hergestellt und lagenweise eingebaut werden, im Gegensatz z. B. zur Bodenverbesserung mit Säulen.

Die Norm legt die Anforderungen an die Bestandteile der Gemische, das Vorgehen bei der Eignungsprüfung, die Kennwerte und Klassifizierung sowie die Ausführung und die Kontrolle fest.

ANMERKUNG 1 Die informativen Anhänge enthalten auch Beispiele für die gängigen Verfahrensweisen und Kontrolle.

Die in dieser Europäischen Norm festgelegte Klassifizierung des im Labor bestimmten Gebrauchsverhaltens der Bodenbehandlungen beinhaltet die Bodenverbesserung und die Bodenstabilisierung.

Hinsichtlich der Bodenverbesserung bezieht sich die Klassifizierung auf das Kurzzeitverhalten.

Hinsichtlich der Bodenstabilisierung bezieht sich die Klassifizierung auf das mittel- bis langfristige Verhalten.

ANMERKUNG 2 EN 16907-4, erarbeitet von CEN/TC 396 „Erdarbeiten“, behandelt die Bodenverbesserung und -stabilisierung von Anwendungen des Erdbaus. EN 14227-15, erarbeitet von CEN/TC 227 „Straßenbaustoffe“, behandelt nur die Bodenstabilisierung von Anwendungen des Oberbaus.

ANMERKUNG 3 Für die Stabilisierung nutzt die in EN 16907-4 festgelegte Klassifizierung des Gebrauchsverhaltens im Allgemeinen die gleiche Klassifizierung des im Labor bestimmten Gebrauchsverhaltens, die in EN 14227-15 festgelegt ist, mit Ausnahme des Diagramms der Klassifizierung des Gebrauchsverhaltens nach „ R_t und E “, das in EN 14227-15 speziell für den Oberbau gilt und das in EN 16907-4 durch ein Diagramm der Klassifizierung des Gebrauchsverhaltens nach „ R_t und E “ ersetzt wurde, das speziell für Erdbauwerke gilt (Bild 1).

2 Normative Verweisungen

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

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

EN 450-1, *Flugasche für Beton — Teil 1: Definition, Anforderungen und Konformitätskriterien*

EN 459-1, *Baukalk — Teil 1: Begriffe, Anforderungen und Konformitätskriterien*

EN 13282-1, *Hydraulische Tragschichtbinder — Teil 1: Schnell erhärtende hydraulische Tragschichtbinder — Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien*

EN 13282-2, *Hydraulische Tragschichtbinder — Teil 2: Normal erhärtende hydraulische Tragschichtbinder — Zusammensetzung, Anforderungen und Konformitätskriterien*

EN 13286-2, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 2: Laborprüfverfahren zur Bestimmung der Referenz-Trockendichte und des Wassergehaltes — Proctorversuch*

EN 13286-3, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 3: Laborprüfverfahren für die Trockendichte und den Wassergehalt – Vibrationsverdichtung mit vertikalem Druck*

EN 13286-4, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 4: Laborprüfverfahren für die Trockendichte und den Wassergehalt — Vibrationshammer*

EN 13286-5, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 5: Laborprüfverfahren für die Trockendichte und den Wassergehalt — Vibrationstisch*

EN 13286-40, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 40: Prüfverfahren zur Bestimmung der Zugfestigkeit hydraulisch gebundener Gemische im direkten Zugversuch*

EN 13286-41, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 41: Prüfverfahren zur Bestimmung der Druckfestigkeit hydraulisch gebundener Gemische*

EN 13286-42, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 42: Prüfverfahren zur Bestimmung der Zugfestigkeit hydraulisch gebundener Gemische im indirekten Zugversuch*

EN 13286-43, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 43: Prüfverfahren zur Bestimmung des Elastizitätsmoduls hydraulisch gebundener Gemische*

EN 13286-45, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 45: Prüfverfahren zur Bestimmung der Verarbeitbarkeitsdauer hydraulisch gebundener Gemische*

EN 13286-46, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 46: Prüfverfahren zur Bestimmung des Feuchtigkeitszustands-Wertes*

EN 13286-47, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 47: Prüfverfahren zur Bestimmung des CBR-Wertes (California bearing ratio), des direkten Tragindex (IBI) und des linearen Schwellwertes*

EN 13286-48, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 48: Prüfverfahren zur Bestimmung des Pulverisierungsgrades*

EN 13286-49, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 49: Beschleunigte Quellprüfung von mit Kalk und/oder hydraulischem Bindemittel behandeltem Boden*

EN 13286-50, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 50: Verfahren zur Herstellung von Probekörpern von hydraulisch gebundenen Gemischen durch Verdichtung mit Proctorgerät oder Vibrationstisch*

EN 13286-51, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 51: Verfahren zur Herstellung von Probekörpern von hydraulisch gebundenen Gemischen durch Verdichtung mit Vibrationshammer*

EN 13286-52, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 52: Verfahren zur Herstellung von Probekörpern von hydraulisch gebundenen Gemischen durch Vibro-Druck (Rütteln und Druck)*

EN 13286-53, *Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische — Teil 53: Verfahren zur Herstellung von Probekörpern von hydraulisch gebundenen Gemischen durch axialen Druck*

EN 14227-2, *Hydraulisch gebundene Gemische — Anforderungen — Teil 2: Schlackengebundene Gemische*

EN 14227-4, *Hydraulisch gebundene Gemische — Anforderungen — Teil 4: Flugasche für hydraulisch gebundene Gemische*

EN 14227-15, *Hydraulisch gebundene Gemische — Anforderungen — Teil 15: Hydraulisch behandelte Böden*

EN 15167-1, *Hüttensandmehl zur Verwendung in Beton, Mörtel und Einpressmörtel — Teil 1: Definitionen, Anforderungen und Konformitätskriterien*

EN ISO 17892-7, *Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Laborversuche an Bodenproben — Teil 7: Einaxialer Druckversuch (ISO/FDIS 17892-7)*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 16907-1 und EN 16907-2 und die folgenden Begriffe.

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

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Luftkalk

Kalk, der sich mit atmosphärischem Kohlenstoffdioxid verbindet und erhärtet

3.2

Bindemittel

Produkt oder Kombination von Produkten, das bzw. die, wenn sie mit einem Material vermischt werden, entweder eine kurzzeitige oder langfristige Verbesserung der Eigenschaften des Materials bewirken

Anmerkung 1 zum Begriff: Die durch diese Norm abgedeckten Bindemittel sind auf die folgenden genormten Produkte begrenzt: Zement, Flugasche, Hochofenschlacke, hydraulischer Tragschichtbinder und Baukalk.

3.3

Bindemittelstreuer

Gerät, mit dem das Bindemittel gleichmäßig auf dem zu behandelnden Boden verteilt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Dazu gehören Streuer mit der Fähigkeit, Bindemittel in Pulverform oder als Suspension in Wasser einzubringen.

3.4

Zement

hydraulisches Bindemittel, d. h. ein fein gemahlener anorganischer Stoff, der, mit Wasser gemischt, Zementleim bildet, welcher durch Hydratation erstarrt und erhärtet und nach dem Erhärten auch unter Wasser fest und raumbeständig bleibt

3.5

Nachbehandlungsdauer

Zeitspanne, in der ein behandeltes Gemisch nach der Endverdichtung unter vorgeschriebenen Bedingungen, die eine Verdunstung begrenzen, ungestört bleibt, die ein Fortsetzen des Stabilisierungsprozesses erlaubt

3.6

Bodenmischanlage

Maschine für das gründliche Vermischen der Bindemittel mit dem Boden

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese Maschinen können unterschiedlich groß ausgelegt sein und lassen sich vorwiegend in zwei Typen unterscheiden: stationäre Mischanlagen mit Mischwerkzeugen (Pflugschar) und bewegliche Mischgeräte mit Mischwerkzeugen (landwirtschaftliche Rotavatoren, Bodenfräsen usw.).

3.7

Flugasche

feines Pulver, das bei der Verbrennung von Stein- oder Braunkohlenstaub in Kohlekraftwerken mit oder ohne Mitverbrennungsstoffen entsteht und durch mechanische oder elektrostatische Abscheider aufgefangen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Flugasche kann:

- kieselensäurereich sein, wobei wesentliche chemische Bestandteile Silikate, Aluminate und Eisenoxide sind;
- kalkhaltig sein, wobei wesentliche chemische Bestandteile Silikate, Aluminate, Calciumoxid und Sulfate sind.

Anmerkung 2 zum Begriff: Kieselensäurereiche Flugasche ist ein puzzolanischer Stoff und benötigt für eine hydraulische Reaktion eine Calciumoxidquelle, beispielsweise Kalk oder Zement.

3.8

hydraulisches Bindemittel

Bindemittel, das bei Vermischung mit Wasser sowohl an der Luft als auch unter Wasser erhärtet und auch unter Wasser fest bleibt

3.9

hydraulischer Tragschichtbinder

werkmäßig hergestellte hydraulische Bindemittel, die gebrauchsfertig geliefert werden und über Eigenschaften verfügen, die besonders für die Behandlung von Materialien für Tragschichten, untere Tragschichten und Planumsschichten sowie für den Erdbau, Straßen-, Eisenbahn- und Flughafenbau und für andere Arten von Infrastrukturen geeignet sind

3.10

Kalk

Calciumoxid und/oder -hydroxid sowie Calciummagnesiumoxid und/oder -hydroxid, das durch thermische Zersetzung (Calcinierung) von natürlichem Calciumcarbonat (z. B. Kalkstein, Kreide, Muschelkalk) oder von natürlichem Calciummagnesiumcarbonat (z. B. dolomitischem Kalkstein, Dolomit) hergestellt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Kalk kann in der Form von ungelöschtem Kalk, Kalkhydrat oder Kalkmilch vorliegen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Alle Verweisungen auf Kalk in dieser Norm beziehen sich auf Baukalk nach EN 459-1.

3.11

Kalkmilch

Suspension von Kalkhydrat in Wasser, die entweder aus ungelöschtem Kalk oder Kalkhydrat in einer speziellen Vorrichtung im Kalkwerk oder auf der Baustelle hergestellt wird

3.12

Baumischverfahren

Mixed-in-place-Verfahren

Behandlungsverfahren, das mit einer beweglichen Einrichtung (Streuer oder Mischer) durchgeführt wird

3.13

Reaktionszeit

Zeitspanne, in der ein Gemisch aus bindigem Material und Kalk nach einer leichten Verdichtung ungestört liegen gelassen wird, um die Migration des Kalks durch die beim Mischen entstandenen Materialklumpen und somit den Verbesserungsprozess zu ermöglichen

3.14

Gemisch

Kombination von Materialien mit Bindemittel(n) und Wasser und möglicherweise anderen Bestandteilen

3.15

Puzzolan

Stoff, der nach dem Anmachen mit Wasser nicht selbständig erhärtet, sondern bei normaler Umgebungstemperatur mit gelöstem Calcium unter Entstehung von festigkeitsbildenden zementartigen Verbindungen reagiert

3.16

Silo

horizontale oder vertikale, oftmals zylinderförmige Lagereinheit, in der Bindemittel gelagert werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Silos können beweglich oder feststehend sein.

3.17

Schlacke

Sämtliche Verweisungen auf Schlacke in dieser Norm beziehen sich auf granulierten Hochofenschlacke

3.18

Schlankheitsgrad

Verhältnis der Höhe des Probekörpers zu seinem Durchmesser

3.19

Bodenverbesserung

Verfahren, bei dem die physikalischen Eigenschaften eines Materials — beispielsweise Wassergehalt, Plastizität, Wasser- und Frostepfindlichkeit, Verdichtbarkeit und Schwellpotential — durch Zugabe eines Bindemittels verändert werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die hinzugegebene Bindemittelmenge ist u. U. nicht ausreichend, um im Wesentlichen dauerhafte Eigenschaften herbeizuführen.

3.20

Bodenstabilisierung

Verfahren, das darin besteht, ein homogenes Gemisch aus Boden mit Bindemittel(n) und möglicherweise Wasser zu erhalten, das bei ordnungsgemäßer Verdichtung die Eigenschaften des Bodens in wesentlicher Weise verändert (in der Regel mittel- oder langfristig), sodass er beständig wird, insbesondere gegenüber Einwirkungen durch Wasser oder Frost

Anmerkung 1 zum Begriff: Durch die Bodenstabilisierung werden dauerhafte Eigenschaften erreicht, die mit den für Feststoffe typischen Verfahren gemessen werden können.

3.21

Bodenbehandlung

allgemeiner Begriff für Verfahren zur Veränderung eines gegebenen Bodens durch Zugabe von Bindemittel oder einer Kombination von Bindemitteln, sodass das sich ergebende Gemisch den vorgesehenen Zweck erfüllen kann

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Bodenbehandlung umfasst sowohl eine Verbesserung als auch eine Stabilisierung.

3.22

Zentralmischverfahren

Behandlungsverfahren, bei dem stationäre Mischanlagen eingesetzt werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Anlage kann semimobil sein.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Materialien und Bindemittel werden in einem Zwangsmischer vermischt. Anschließend wird die Mischung in einen Lastkraftwagen verladen oder auf eine Lagerhalde verbracht.

3.23

Verarbeitbarkeitsdauer

Zeitspanne ab dem Ende des Mischens, während der das Bindemittel gar nicht oder nur sehr wenig erstarrt und innerhalb der alle Einbauprozesse einschließlich Verdichtung und Profilierung abgeschlossen sein müssen

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen.

w	Wassergehalt;
P	Pulverisierungsgrad;
I_{IPi}	direkter Tragindex (en: immediate bearing index);
I_{MCV}	Anforderung an den Wassergehalt (en: moisture condition value);
I_{CBR}	CBR-Wert (en: California bearing ratio);
R	Druck- oder Zugfestigkeit;
R_c	Druckfestigkeit;
R_t	Zugfestigkeit;
R_{it}	indirekte Zugfestigkeit;
R_i	Druck- oder Zugfestigkeit nach Wasserlagerung;
E	Elastizitätsmodul;
E_c	Elastizitätsmodul bei Druckbeanspruchung;
E_t	Elastizitätsmodul bei direkter Zugbeanspruchung;
E_{it}	Elastizitätsmodul bei indirekter Zugbeanspruchung;
I_r	Festigkeitswert nach Wasserlagerung (R_i/R);
L_S	lineare Schwellwertamplitude (in einer CBR-Probekörperform);
G_v	Volumenzunahme.

5 Bestandteile

5.1 Materialien

5.1.1 Allgemeines

Die durch diese Norm abgedeckten Arten von Erdbaumaterialien zur Behandlung mit Bindemitteln sind folgende:

- natürliche Böden;
- bearbeitete Gesteinskörnungen;
- brüchiger, mittelfester und fester Fels und Kreide;
- rezyklierte Baustoffe;
- industriell hergestellte Materialien.

Es kann sich auch um Mischformen der verschiedenen Arten handeln.

ANMERKUNG Einige Materialarten können vorbehandelt werden, beispielsweise mit Kalk, um den Wassergehalt einzustellen und/oder Tone auszuflocken.

Sie müssen Folgendem entsprechen:

- a) die maximale Korngröße muss mit der Leistungsfähigkeit der Geräte (Mischer, Walze, Grader usw.) sowie mit den geometrischen Anforderungen, insbesondere in Bezug auf die Schichtdicken nach der Verdichtung, vereinbar sein;
- b) kein Bestandteil darf in einem Verhältnis vorhanden sein, das die Erstarrung, Erhärtung, das Gebrauchsverhalten oder die volumetrische Stabilität des behandelten Materials beeinträchtigt.

5.1.2 Natürliche Böden und bearbeitete Gesteinskörnungen

Böden sowie bearbeitete Gesteinskörnungen werden nach EN 16907-2 klassifiziert.

5.1.3 Brüchiger, mittelfester und fester Fels und Kreide

Brüchiger, mittelfester und fester Fels und Kreide werden nach EN 16907-2 klassifiziert.

5.1.4 Rezyklierte Baustoffe

Rezyklierte Baustoffe stammen aus Abbruch-/Abtragungsarbeiten von Gebäuden oder Infrastrukturen oder aus Aushubarbeiten. Die meisten rezyklierten Baustoffe sind im Allgemeinen chemisch inert. Die Umweltverträglichkeit ihrer Anwendung sollte bewertet werden.

5.1.5 Industriell hergestellte Materialien

Industriell hergestellte Materialien entstammen industriellen Prozessen, bei denen thermische oder andere Modifizierungen (z. B. Flugasche, Schlacke usw.) stattfinden. Sie sind nicht zwingend chemisch inert.

5.2 Bindemittel

5.2.1 Zement

Zement muss EN 197-1 entsprechen.

5.2.2 Flugasche

Flugasche muss entweder kieselsäurereiche Flugasche nach EN 450-1 oder aber kieselsäurereiche oder kalkhaltige Flugasche nach EN 14227-4 sein.

ANMERKUNG Kieselsäurereiche Flugasche ist ein puzzolanischer Stoff und benötigt für eine hydraulische Reaktion eine Calciumoxidquelle, beispielsweise Kalk oder Zement.

5.2.3 Schlacke

Schlacke muss entweder gemahlene granuliert Hochofenschlacke nach EN 15167-1 oder grob gemahlene granuliert Hochofenschlacke nach EN 14227-2 sein.

ANMERKUNG Zur Verbesserung der hydraulischen Reaktivität von Schlacke sind im Allgemeinen weitere Bestandteile erforderlich.

5.2.4 Hydraulischer Tragschichtbinder

Hydraulischer Tragschichtbinder muss EN 13282-1 oder EN 13282-2 entsprechen.

5.2.5 Kalk

Kalk muss Luftkalk nach EN 459-1 in der Form von ungelöschtem Kalk oder Kalkhydrat oder Kalkmilch sein.

5.2.6 Mischbindemittel

Es können Mischungen der genormten Bindemittel nach 5.2.1 bis 5.2.5 verwendet werden, vorausgesetzt, der Mischvorgang wird in einer Mischanlage und entsprechend einer angegebenen Zusammensetzung durchgeführt und mithilfe angemessener Aufzeichnungen kontrolliert.

5.3 Wasser

Wasser darf keine Bestandteile enthalten, die die Erstarrung, die Erhärtung und das Gebrauchsverhalten des Gemisches beeinträchtigen können.

5.4 Sonstige Bestandteile

Die sonstigen Bestandteile können Gesteinskörnungen, Gips, Böden, Zusatzstoffe oder Zusatzmittel wie Erstarrungsverzögerer sein, die für die hydraulische Reaktion entweder erforderlich sind oder diese verbessern oder die die Verarbeitbarkeit, Befahrbarkeit oder das Gebrauchsverhalten verbessern.

6 Boden-Bindemittel-Gemische

6.1 Allgemeines

Das Gemisch umfasst aufgelistete Bestandteile aus Abschnitt 5.

Falls Bestandteile zu unterschiedlichen Zeiten zu den Materialien gegeben werden (beispielsweise eine Behandlung mit Kalk, gefolgt von der Zugabe eines anderen Bestandteils), sollte der zeitliche Abstand zwischen den entsprechenden Zugaben angegeben werden.

6.2 Dosierung der Bestandteile

Die Dosierung der Bestandteile, einschließlich des Bindemittels, wird als prozentualer Anteil der Trockenmasse an der Gesamttrockenmasse des Gemisches angegeben und muss nach Abschnitt 7 erfolgen.

Der Wassergehalt wird als prozentualer Anteil der Masse an der Gesamttrockenmasse des Gemisches angegeben.

7 Ablauf der Laborprüfungen

7.1 Allgemeines

Bei der Festlegung des Gemisches muss ein eindeutig definierter und beschriebener Ablauf der Laborprüfungen befolgt werden. In diesem Abschnitt werden die empfohlenen Mindestanforderungen, die als Teil dieser Prüfvorschrift zur Herstellung einer durchführbaren Gemischrezeptur notwendig sind, dargelegt.

Der Grundsatz der in diesem Unterabschnitt beschriebenen Vorgehensweise besteht darin, im Labor aus der (den) Probe(n) des (der) repräsentativen zu behandelnden Materials (Materialien aus der (den) ausgewählten Bodenschicht(en)) ein (mehrere) Gemisch(e) mit einem (mehreren) Bindemittel(n) in einer (mehreren) Dosierung(en) herzustellen, das (die) einer (mehreren) zuvor festgelegten Zusammensetzung(en) entspricht (entsprechen).

Die Eigenschaften des (der) Gemische(s) werden durch unterschiedliche Prüfungen, die für das Verhalten des behandelten Materials am Einbauort repräsentativ sind, bestimmt.

Die Prüfergebnisse der untersuchten Zusammensetzungen werden zur Festlegung von Kennwerten für die Herstellung der einzelnen Gemische und zum Einstufen des mechanischen Gebrauchsverhaltens entsprechend der Klassifizierung in Abschnitt 8 herangezogen.

7.2 Untersuchung der Ausgangsstoffe

7.2.1 Untersuchung des zu behandelnden Bodens

Die zu behandelnden Böden werden entsprechend den Prüfanforderungen für die Untersuchung und Klassifizierung von Materialien nach EN 16907-2 eingestuft.

Die Untersuchungen müssen an Proben durchgeführt werden, die repräsentativ für den zur Behandlung vorgesehenen Boden sind.

7.2.2 Untersuchung des Bindemittels

Bindemittel müssen den Anforderungen der in 5.2 aufgeführten Normen entsprechen.

- a) Bindemittel, die durch eine harmonisierte Norm abgedeckt werden: durch die Übereinstimmung mit der Norm und der Leistungserklärung (DoP; en: Declaration of Performance) nach den Festlegungen in der Verordnung (EU) Nr. 305/2011 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. März 2011 (EU-BauPVO) wird die Eignung des Bindemittels für eine Verwendung bestätigt.
- b) Sonstige Bindemittel nach 5.2: die Übereinstimmung des Bindemittels mit der maßgeblichen Europäischen Produktnorm muss im Rahmen der werkseigenen Produktionskontrolle des Herstellers mithilfe der Datenblätter der internen Überwachungsprüfung überprüft werden. Darüber hinaus müssen Prüfungen an Proben des gelieferten Produkts durchgeführt werden. Die zu prüfenden Merkmale und die anzuwendenden Prüfverfahren sind der entsprechenden Europäischen Produktnorm zu entnehmen.

Sofern für weitere Identifizierungs- oder Prüfverfahren erforderlich, müssen Proben von Bindemitteln aufbewahrt und in geeigneter Weise gelagert werden.

7.3 Machbarkeit der Behandlung

Die Machbarkeit der Behandlung richtet sich nach der Körnung und den Eigenschaften der Bestandteile des Materials.

- a) Die Körnung (einschließlich der maximalen Korngröße als Indikator) muss mit der Leistungsfähigkeit der Geräte (Mischer, Walze, Grader usw.) sowie mit den geometrischen Anforderungen, insbesondere in Bezug auf die Schichtdicken nach der Verdichtung, vereinbar sein.

Für eine Stabilisierung sollte je nach Härte der Bestandteile die maximale Korngröße kleiner als 150 mm sein, es sei denn, die Geräte sind in der Lage, die festgelegten Parameter auch bei größeren Bestandteilen mühelos zu erreichen.

Die letztendliche Korngröße des Gemisches muss den Vorgaben für die Verdichtung entsprechen.

ANMERKUNG 1 Für Verfahrensweisen zur Entfernung von übergroßen Bestandteilen siehe 9.6.3, Korrektur der Korngrößenverteilung.

- b) Es sollte kein Bestandteil in einem Anteil vorhanden sein, der das Gebrauchsverhalten und die volumetrische Stabilität des behandelten Materials beeinträchtigt.

Das Verfahren zur Bewertung des Risikos durch das Vorhandensein schädlicher Elemente wird in Abschnitt 8 dieser Norm aufgezeigt.

ANMERKUNG 2 Organische Stoffe können den Erstarrungs- und Erhärtungsprozess verzögern oder verhindern. Durch Versuche mit verschiedenen Gemischrezepturen im Labor lässt sich ermitteln, ob ein Boden, der organische Stoffe enthält, verwendet werden kann. Die verwendbare Menge hängt von der Art der organischen Stoffe ab.

ANMERKUNG 3 Böden, die Schwefel, Sulfide oder Sulfate enthalten oder enthalten könnten, können zu einer Ausdehnung des Gemisches führen. Durch Versuche mit verschiedenen Gemischrezepturen im Labor, einschließlich der Prüfung der „Feuchtebeständigkeit“ nach der vorliegenden Europäischen Norm, lässt sich ermitteln, ob Materialien mit einem Schwellpotential verwendet werden können. Grenzwerte für das Schwellen aufgrund von Sulfiden und Sulfaten werden durch das nach 8.2.5 gemessene Schwellverhalten festgelegt. Grenzwerte für die Anteile dieser schädlichen Stoffe können auch durch nationale Anwendungsregeln festgelegt sein.

ANMERKUNG 4 Im informativen Anhang G werden Beispiele für Labor- und Feldverfahren zur Identifizierung von typischen Sulfid- und Sulfatmineralen angegeben.

7.4 Verarbeitbarkeitsdauer

Sofern erforderlich, muss die Verarbeitbarkeitsdauer nach EN 13286-45 oder entsprechend alternativen Verfahrensweisen am Ort der Verwendung oder auf Grundlage der Angaben des Bindemittellieferanten festgelegt werden.

7.5 Eigenschaften für die Ausführung

7.5.1 Verbesserung

Verbesserungsarbeiten werden im Allgemeinen zur Verringerung des Wassergehalts des Materials und somit für eine Verbesserung seiner Eigenschaften durchgeführt.

Die Eigenschaften für die Ausführung müssen wie folgt festgelegt werden:

- entweder durch den direkten Tragindex (I_{PT});

- oder die Anforderung an den Wassergehalt (MCV);
- oder durch den Verdichtungsgrad.

7.5.2 Stabilisierung

Die Eigenschaften für die Ausführung sind einerseits von einem mit der Hydratation des Bindemittels verträglichen Wassergehalt des Gemisches und andererseits von der Erreichung einer für den Baumaschinenverkehr bei der Ausführung ausreichenden Tragfähigkeit abhängig.

Sie müssen entweder bestimmt werden durch:

- den Verdichtungsgrad und den Wassergehalt, der für die Hydratation des Bindemittels erforderlich ist; oder
- den Wassergehalt im Vergleich mit dem optimalen Wassergehalt für den unteren Wert des Wassergehalts und dem Wassergehalt entsprechend einem festgelegten direkten Tragindex (I_{PI}) für den oberen Wert;
- oder durch die Anforderung an den Wassergehalt-Wert (MCV).

7.6 Mechanisches Gebrauchsverhalten

7.6.1 Nachbehandlungsbedingungen

In Ermangelung der besonderen Umgebungsbedingungen, die in der klimatischen Umgebung am Einbauort vorherrschen, müssen die Nachbehandlungsbedingungen für die Probekörper wie folgt sein:

- a) an der Luft:
 - Temperatur: $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$;
 - Bedingungen, in denen eine Verdunstung vermieden wird (Paraffin oder abgedichteter Behälter oder spezielle Kammer mit einer Feuchte $\geq 90\text{ %}$);
- b) in Wasser:
 - Temperatur: $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$.

Diese Nachbehandlungsbedingungen gelten für gemäßigte Klimaregionen. Für wärmeres oder kälteres Klima dürfen andere Bedingungen angewendet werden.

7.6.2 Feuchtebeständigkeit

Falls erforderlich, muss die Feuchtebeständigkeit durch eines der folgenden Verfahren untersucht werden, je nachdem, welches Verfahren geeignet ist:

- Festigkeitswert nach Lagerung in Wasser;
- linearer Schwellwert nach Ansaugen von Wasser;
- räumlicher Schwellwert nach Lagerung in Wasser.

7.6.3 Beständigkeit bei unmittelbarem Befahren durch Baufahrzeuge

7.6.3.1 Verbesserung

Je nach Last und Typ des Fahrzeugs sollten die in 7.5.1 aufgelisteten Eigenschaften für die Ausführung ein unmittelbares Befahren durch Baufahrzeuge zulassen.

7.6.3.2 Stabilisierung

Sofern erforderlich, muss die Beständigkeit bei unmittelbarem Befahren durch Baufahrzeuge durch den MCV oder I_{PI} oder I_{CBR} oder R_c der Probekörper, der nach einer angemessenen Nachbehandlungsdauer gemessen werden kann, bestimmt werden.

7.6.4 Frostbeständigkeit

Sofern erforderlich, muss die Frostbeständigkeit in Übereinstimmung mit den am Einsatzort geltenden Vorgaben untersucht werden.

7.6.5 Prüfungen zur Klassifizierung des Gebrauchsverhaltens

Sofern erforderlich, muss das Gebrauchsverhalten des stabilisierten Gemisches durch eines der folgenden Verfahren untersucht werden, je nachdem, welches Verfahren geeignet ist:

- Bestimmung des CBR-Wertes;
- Bestimmung der Druckfestigkeit R_c nach EN 13286-41 (Kraftsteuerung) oder EN ISO 17892-7 (Wegsteuerung). Weitere Informationen können dem informativen Anhang B entnommen werden;
- kombinierte Bestimmung der Werte der Zugfestigkeit R_t und des Elastizitätsmoduls E nach EN 13286-43.

Das Klassifizierungsalter und die Nachbehandlungsbedingungen, denen die Probekörper vor der Prüfung ausgesetzt sind, müssen den am Ort der Verwendung üblichen Erfahrungen entsprechend festgelegt werden.

7.6.6 Sonstige Prüfungen des Gebrauchsverhaltens

Je nach Anwendung können andere Prüfungen zur Charakterisierung des Gebrauchsverhaltens des Gemisches durchgeführt werden.

ANMERKUNG 1 Im informativen Anhang C wird ein Beispiel für die Anwendung des seismischen Verfahrens zur Bestimmung des sowohl im Labor als auch im Feld gemessenen mechanischen Gebrauchsverhaltens von behandelten Materialien angegeben.

ANMERKUNG 2 Der informative Anhang F enthält Beispiele für andere mögliche Prüfungen des Gebrauchsverhaltens.

7.7 Herstellung der Probekörper

7.7.1 Korngröße des Materials

D_{max} ist von der angewendeten Prüfnorm abhängig.

ANMERKUNG Bodenarten mit einem übermäßig hohen Anteil an runden Bestandteilen oder mit Ausfallkörnungen aufgrund fehlender Korngruppen, wie z. B. Feinanteile, können sich bei Befahrung durch Baustellenfahrzeuge als instabil erweisen oder einen höheren Prozentsatz an Bindemittel zur Füllung der Hohlräume erfordern. Für die

Verbesserung der Befahrbarkeit während der Bauarbeiten oder zur Verringerung der zu verwendenden Bindemittelmenge kann es notwendig sein, die Korngrößenverteilung im Vorfeld durch Zugabe eines anderen Materials zu korrigieren.

7.7.2 Herstellung der Gemische

Im informativen Anhang A wird ein Verfahren zur Herstellung der Gemische für die Probekörper der behandelten Materialien vorgeschlagen.

Die Gemische sollten vorzugsweise in einem mechanischen Mischer hergestellt werden.

In bestimmten Fällen ist aufgrund spezifischer Anforderungen oder bei bindigen Böden ein Mischen von Hand möglich.

Das Gemisch muss so lange gemischt werden, bis keine weitere Verbesserung der Homogenität erreicht wird.

Das angewendete Mischverfahren muss in jedem Fall im Laborprüfbericht angegeben werden.

7.7.3 Maße der Probekörper

Die Maße der Probekörper sind abhängig von $D_{\max}$ des Gemisches und von den in Übereinstimmung mit den entsprechenden Normen zu messenden Merkmalen.

ANMERKUNG Je nach Prüfverfahren wird $D_{\max}$ durch eine der folgenden Normen festgelegt: EN 13286-50, EN 13286-51, EN 13286-52 und EN 13286-53.

Die Maße der Probekörper sind im Laborprüfbericht anzugeben.

7.7.4 Verdichtungsverfahren

Die Verdichtungsverfahren sind abhängig von den Maßen der Probekörper, dem zu erreichenden Verdichtungsziel (Verdichtungsenergie oder Dichte) und von den in Übereinstimmung mit den entsprechenden Normen zu messenden Merkmalen.

Die Verdichtungsverfahren sind im Laborprüfbericht anzugeben.

ANMERKUNG 1 Die verschiedenen für die Probekörperherstellung zulässigen Verfahren führen zu unterschiedlichen Probekörperformen und -dichten und daher bei gleicher Mischungsrezeptur zu unterschiedlichen Festigkeiten. Durch Erfahrungswerte in der Anwendung hat es sich als wichtig erwiesen, die Festigkeit niemals getrennt vom Verfahren der Probekörperherstellung zu betrachten.

ANMERKUNG 2 Je nach Prüfverfahren wird das Verdichtungsverfahren durch eine der folgenden Normen festgelegt: EN 13286-50, EN 13286-51, EN 13286-52 und EN 13286-53.

7.7.5 Nachbehandlung

Eine zwischen der Herstellung und der Prüfung der Probekörper gegebenenfalls erforderliche Nachbehandlungsdauer besteht darin, dass die Probekörper für eine bestimmte Zeit unter bestimmten Bedingungen (Temperatur, Feuchte usw.) gelagert werden.

Weiterführende Angaben zu Nachbehandlungsbedingungen finden sich im informativen Anhang A.

Der informative Anhang E enthält Beispiele für das Klassifizierungsalter und für Nachbehandlungsschemata zur Prüfung des mechanischen Gebrauchsverhaltens von behandelten Materialien.

7.8 Umfang der Laboruntersuchungen

7.8.1 Allgemeines

In diesem Abschnitt werden die mindestens erforderlichen Laboruntersuchungen zur Bestimmung der Merkmale und des Gebrauchsverhaltens eines Materials, das nach einer Verbesserung oder Stabilisierung für die Verwendung in Erdbauwerken vorgesehen ist, angegeben.

7.8.2 Untersuchung der Bestandteile

Materialien, Bindemittel und sonstige Bestandteile müssen identifiziert werden.

Ungeachtet des Behandlungsziels (Verbesserung oder Stabilisierung) muss dafür Sorge getragen werden, dass die Proben repräsentativ sind.

7.8.3 Verbesserung

Die Untersuchung der Verbesserung muss in einem der folgenden Prüfverfahren bestehen:

- direkter Tragindex;
- Anforderung an den Wassergehalt;
- Verdichtungsgrad.

Falls erforderlich, können andere Prüfungen durchgeführt werden (z. B. Quellversuche).

7.8.4 Stabilisierung

7.8.4.1 Allgemeines

In diesem Unterabschnitt werden drei Ebenen der Untersuchungen der Stabilisierung beschrieben, die je nach Zusammenhang des Bauvorhabens gewählt werden können.

7.8.4.2 Ebene 0

Ziel

Die Zielsetzung einer Untersuchung der Ebene 0 beschränkt sich auf die Ermittlung der Machbarkeit der Stabilisierung.

Inhalt

a) Vorgeschriebene Untersuchungen:

- 1) Eignung zur Behandlung mit dem (den) vorgeschlagenen Bindemittel(n);
- 2) Merkmale für die Ausführung;

b) optionale Untersuchungen:

- 1) Verarbeitbarkeitsdauer.

7.8.4.3 Ebene 1

Ziel

Die Zielsetzung einer Untersuchung der Ebene 1 besteht in der Überprüfung der Relevanz des Gemisches, die im Vorfeld auf Grundlage von Erfahrungswerten mit dem (den) betreffenden Material(ien) festgelegt wurde.

Inhalt

a) Vorgeschriebene Untersuchungen:

- 1) Eignung zur Behandlung mit dem (den) vorgeschlagenen Bindemittel(n);
- 2) Eigenschaften für die Ausführung;
- 3) Beständigkeit bei unmittelbarem Befahren;
- 4) langfristiges Gebrauchsverhalten;

b) optionale Untersuchungen:

- 1) Verarbeitbarkeitsdauer;
- 2) Feuchtebeständigkeit;
- 3) Frostbeständigkeit.

7.8.4.4 Ebene 2

Ziel

Die Zielsetzung einer Untersuchung der Ebene 2 besteht in der Optimierung des Bindemittelgehalts unter Berücksichtigung der Auswirkungen des veränderlichen Bindemittelgehalts während des Streuens, des Verdichtungsgrades und des Wassergehalts auf das Gebrauchsverhalten des Gemisches.

Durch die Ergebnisse können sowohl die zur Einordnung des Gemisches in die vorgesehene Klasse benötigte Mindestmenge als auch die zum Ausgleich von Abweichungen während der Bauausführung geeignete Menge ermittelt werden.

Inhalt

Eine Untersuchung der Ebene 2 umfasst:

- eine Ebene-1-Untersuchung eines nach Erfahrungswerten ausgewählten Gemisches, das als „Grundrezeptur“ bezeichnet wird;
- eine Untersuchung der Abweichungen des langfristigen mechanischen Gebrauchsverhaltens des Gemisches in Bezug auf den Bindemittelgehalt. Diese Untersuchung wird mit mindestens zwei Gehalten von Bindemitteln durchgeführt (auf jeder Seite der Bindemittelmenge der „Grundrezeptur“);
- eine Untersuchung der Auswirkungen von während der Bauausführung auftretenden Abweichungen (Dosierung der Bestandteile, Verdichtungsgrad, Wassergehalt) auf das langfristige mechanische Gebrauchsverhalten des Gemisches. Zu diesem Zweck werden für die Abweichungen repräsentative Probekörper angefertigt und auf ihr langfristiges mechanisches Gebrauchsverhalten geprüft.

ANMERKUNG Der informative Anhang D enthält ein Beispiel zur Bewertung der Empfindlichkeit des Gebrauchsverhaltens von nach R_t und E klassifizierten behandelten Materialien.

7.9 Laborprüfbericht

In Abhängigkeit von Anwendung und Untersuchungsebene sollte der Laborprüfbericht Folgendes enthalten:

- a) Verweisung auf diese Europäische Norm, d. h. EN 16907-4;
- b) Ursprung, Merkmale und Homogenität des Materials vor der Behandlung;
- c) Beschreibung der Bestandteile;
- d) Anteile der Bestandteile des Gemisches einschließlich des Wassergehalts;
- e) bei Bodenverbesserungen:
 - 1) das im Labor ermittelte Gebrauchsverhalten, sofern zutreffend, einschließlich gegebenenfalls der aufgewendeten Verdichtungsenergie;
- f) bei Stabilisierungen:
 - 1) für das frische Gemisch ausgewählte Kategorien (z. B. w , P , I_{PI} , MCV) einschließlich der aufgewendeten Verdichtungsenergie zur Bestimmung von I_{PI} für die Bodenstabilisierung nach 8.3.1, sofern zutreffend;
 - 2) Klassifizierung des Gebrauchsverhaltens nach 8.3.2, sofern zutreffend;
 - 3) Kategorie der Feuchtebeständigkeit (z. B. I_r , L_S oder G_v) nach 8.3.3, sofern zutreffend;
 - 4) Beständigkeit bei unmittelbarem Befahren durch Baufahrzeuge nach 8.3.4, sofern zutreffend;
 - 5) Frostbeständigkeit nach 8.3.5, sofern zutreffend;
 - 6) zutreffende sonstige Anforderungen nach 8.3.6;
 - 7) zusätzlich, sofern zutreffend, die Werte des im Labor bestimmten Gebrauchsverhaltens sowie das Verfahren zur Herstellung der Probekörper (einschließlich, sofern zutreffend, des zeitlichen Abstands zwischen den Zugaben der einzelnen Bestandteile zum Bodenmaterial), Nachbehandlungsbedingungen, Nachbehandlungsdauer, Trockenrohdichte und Wassergehalt der für die Bestimmung des Gebrauchsverhaltens verwendeten Probekörper;
- g) alle weiteren Angaben, die für die ordnungsgemäße Anwendung des Gemisches sowie für den Entwurf und die Bemessung des Erdbauwerks notwendig sind.

8 Klassifizierung des Gebrauchsverhaltens der Gemische

8.1 Allgemeines

Für jede untersuchte Zusammensetzung können die Ergebnisse der entsprechend Abschnitt 7 durchgeführten Prüfungen zur Festlegung von Parameterwerten für die Ausführung des Gemisches und/oder die Klassifizierung des Gemisches entsprechend seines Gebrauchsverhaltens verwendet werden; die Betrachtung des Gebrauchsverhaltens erfolgt:

— entweder kurzfristig (Verbesserung), entspricht in der Regel der Bauphase; oder

— mittel- bis langfristig (Stabilisierung), im Allgemeinen nach der Bauphase.

8.2 Verbesserung

8.2.1 Allgemeines

Mit Bindemitteln verbesserter Boden muss in Bezug auf den direkten Tragindex, der Anforderung an den Wassergehalt und den Verdichtungsgrad jeweils einer der Kategorien nach 8.2.2 oder 8.2.3 oder 8.2.4 entsprechen.

Zusätzlich zu den vorstehend aufgelisteten und nachstehend weiter ausgeführten Kategorien können entsprechend der am Ort der Verwendung geltenden Anforderungen an den Luftporenanteil oder an die Iso-Sättigungskurven festgelegt werden.

8.2.2 Direkter Tragindex

Sofern gefordert, muss der nach EN 13286-47 bestimmte direkte Tragindex des Gemisches einer der Kategorien nach Tabelle 1 entsprechen.

Tabelle 1 — Direkter Tragindex

Direkter Tragindex (I_{PI} in %)	Kategorie
≥ 5	IP_{I5}
≥ 7	IP_{I7}
≥ 10	IP_{I10}
≥ 15	IP_{I15}
≥ 20	IP_{I20}
≥ 25	IP_{I25}
≥ 30	IP_{I30}
Deklariertes Wert	IP_{IDV}

8.2.3 Anforderung an den Wassergehalt

Sofern gefordert, muss die nach EN 13286-46 bestimmte Anforderung an den Wassergehalt des Gemisches einer der in Tabelle 2 angegebenen Kategorien entsprechen.

Tabelle 2 — Anforderung an den Wassergehalt

Anforderung an den Wassergehalt (I_{MCV})	Kategorie
Mindestens 8, höchstens 12	$MCV_{8/12}$
Deklarierte Werte	MCV_{DV}

ANMERKUNG Eine Prüfung der Anforderung an den Wassergehalt eignet sich besonders bei bindigen Böden.

8.2.4 Verdichtungsgrad

Sofern gefordert, muss der Verdichtungsgrad des Gemisches einer der in Tabelle 3 angegebenen Kategorien entsprechen.

Tabelle 3 — Verdichtungsgrad

Verhältnis der in-situ-Trockendichte zur Proctordichte (siehe Anmerkung) in % bei Bestimmung nach EN 13286-2	Kategorie
≥ 95	DC _{95,SPT}
≥ 97	DC _{97,SPT}
≥ 98	DC _{98,SPT}
≥ 100	DC _{100,SPT}
≥ 95	DC _{95,MPT}
≥ 97	DC _{97,MPT}
Deklariertes Wert	DC _{DV}
ANMERKUNG 1 SPT (en: standard proctor test) bezieht sich auf den Proctorversuch und entspricht einer spezifischen Energie von etwa 0,6 MJ/m ³ nach EN 13286-2.	
ANMERKUNG 2 MPT (en: modified proctor test) bezieht sich auf den modifizierten Proctorversuch und entspricht einer spezifischen Energie von etwa 2,7 MJ/m ³ nach EN 13286-2.	

8.2.5 Schwellen

Sofern gefordert, ist das Schwellen des Gemisches entweder nach dem Verfahren zur Bestimmung des linearen Schwellens oder nach dem Verfahren zur Bestimmung des räumlichen Schwellens, die in 8.3.3.3 und 8.3.3.4 beschrieben sind, zu untersuchen.

ANMERKUNG In diesen Prüfungen wird das gesamte Schwellverhalten aufgrund der Anwesenheit quellfähiger Tone sowie schädlicher Stoffe, wie Sulfate, gemessen.

8.3 Stabilisierung

8.3.1 Anforderungen an das frische Gemisch

8.3.1.1 Wassergehalt

Sofern gefordert, muss der Wassergehalt des Gemisches der nach Tabelle 4 ausgewählten Kategorie für den Mindestwassergehalt entsprechen.

Der Wassergehalt ist so zu wählen, dass das Gemisch auf der Baustelle durch Walzen verdichtet werden kann und dass eine Optimierung des mechanischen Gebrauchsverhaltens erfolgt. Der Wassergehalt ist durch ein Verfahren in Übereinstimmung mit EN 13286-2, EN 13286-3, EN 13286-4 und EN 13286-5 zu bestimmen, und es müssen Grenzen in einem praktikablen Bereich, der mit der Verdichtbarkeit auf der Baustelle und dem gewünschten Gebrauchsverhalten des Gemisches vereinbar ist, festgelegt werden.

Tabelle 4 — Kategorien des Mindestwassergehalts

Mindestwassergehalt	Kategorie
Das 0,9fache des optimalen Wassergehalts des Gemisches, der in Übereinstimmung mit dem gewählten Verdichtungsverfahren nach EN 13286-2, EN 13286-3, EN 13286-4 und EN 13286-5 bestimmt wurde	$w_{0,9}$
Das 0,95fache des optimalen Wassergehalts des Gemisches, der in Übereinstimmung mit dem gewählten Verdichtungsverfahren nach EN 13286-2, EN 13286-3, EN 13286-4 und EN 13286-5 bestimmt wurde	$w_{0,95}$
Der optimale Wassergehalt des Gemisches, der in Übereinstimmung mit dem gewählten Verdichtungsverfahren nach EN 13286-2, EN 13286-3, EN 13286-4 und EN 13286-5 bestimmt wurde	$w_{1,0}$
Das 1,05fache des optimalen Wassergehalts des Gemisches, der in Übereinstimmung mit dem gewählten Verdichtungsverfahren nach EN 13286-2, EN 13286-3, EN 13286-4 und EN 13286-5 bestimmt wurde	$w_{1,05}$
Deklariertes Wert	w_{DV}
Das gewählte Verdichtungsverfahren ist anzugeben.	

8.3.1.2 Pulverisierungsgrad

Sofern gefordert, muss der nach EN 13286-48 bestimmte Pulverisierungsgrad des Gemisches einer der in Tabelle 5 angegebenen Kategorien entsprechen.

Tabelle 5 — Pulverisierungsgrad

Pulverisierungsgrad (P in %)	Kategorie
≥ 30	P_{30}
≥ 40	P_{40}
≥ 50	P_{50}
≥ 60	P_{60}
Deklariertes Wert	P_{DV}

8.3.1.3 Direkter Tragindex

Sofern gefordert, muss der nach EN 13286-47 bestimmte direkte Tragindex des Gemisches einer der in Tabelle 6 angegebenen Kategorien entsprechen. Der der gewählten Kategorie des direkten Tragindex entsprechende Wassergehalt des Gemisches muss angegeben werden.

Tabelle 6 — Direkter Tragindex

Direkter Tragindex (I_{PI} in %)	Kategorie
≥ 10	IPI_{10}
≥ 15	IPI_{15}
≥ 20	IPI_{20}
≥ 25	IPI_{25}
≥ 30	IPI_{30}
≥ 40	IPI_{40}
≥ 50	IPI_{50}
Deklariertes Wert	IPI_{DV}

8.3.1.4 Anforderung an den Wassergehalt

Sofern gefordert, muss die nach EN 13286-46 bestimmte Anforderung an den Wassergehalt des Gemisches einer der in Tabelle 7 angegebenen Kategorien entsprechen.

Tabelle 7 — Anforderung an den Wassergehalt

Anforderung an den Wassergehalt (I_{MCV})	Kategorie
Mindestens 6, höchstens 10	$\text{MCV}_{6/10}$
Mindestens 7, höchstens 11	$\text{MCV}_{7/11}$
Mindestens 8, höchstens 12	$\text{MCV}_{8/12}$
Mindestens 9, höchstens 13	$\text{MCV}_{9/13}$
Deklarierte Werte	MCV_{DV}

8.3.1.5 Verarbeitbarkeitsdauer

Sofern für den vorgesehenen Verwendungszweck und die Witterungsverhältnisse gefordert, muss die nach EN 13286-45 oder entsprechend alternativer Verfahrensweisen nach den Erfahrungen am Ort der Verwendung oder auf Grundlage der Angaben des Bindemittellieferanten bestimmte Verarbeitbarkeitsdauer angegeben werden.

8.3.1.6 Verdichtungsgrad

Sofern gefordert, muss der Verdichtungsgrad des Gemisches einer der in Tabelle 8 angegebenen Kategorien entsprechen.

Zusätzlich können entsprechend der am Ort der Verwendung vorliegenden Erfahrungen Anforderungen für den Luftporenanteil oder die Iso-Sättigungskurven festgelegt werden.