

DIN EN 16907-1

ICS 93.020

**Erdarbeiten –
Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln;
Deutsche Fassung EN 16907-1:2018**

Earthworks –
Part 1: Principles and general rules;
German version EN 16907-1:2018

Terrassement –
Partie 1: Principes et règles générales;
Version allemande EN 16907-1:2018

Gesamtumfang 177 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 16907-1:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 396 „Erdarbeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium 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).

Dieses Dokument enthält Nationale Fußnoten.

DIN EN 16907 besteht unter dem allgemeinen Titel *Erdarbeiten* aus den folgenden Teilen:

- *Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln*
- *Teil 2: Materialklassifizierung*
- *Teil 3: Ausführung von Erdarbeiten*
- *Teil 4: Bodenbehandlung mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln*
- *Teil 5: Qualitätskontrolle und Überwachung*
- *Teil 6: Landgewinnung mit nassgebagertem Einbaumaterial*

In der englischen Fassung wird der Begriff 3.1.4 „Capping Layer“ als genereller Begriff für eine Lage, die unterhalb des Planums eingebaut wird und ggf. bestimmte Eigenschaften besitzt, verwendet. Diesen Begriff gibt es im deutschen Sprachgebrauch nicht. Er wird im Weiteren mit „Planumsschicht“ übersetzt.

Das Dokument enthält an einigen Stellen fehlerhafte Abschnittsverweisungen und Bildlegenden. Diese mussten aus der englischen Referenzfassung unverändert übernommen werden.

Deutsche Fassung

**Erdarbeiten —
Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln**

Earthworks —
Part 1: Principles and general rules

Terrassement —
Partie 1: Principes et règles générales

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 20. 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	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen	8
3.1 Begriffe	8
3.2 Symbole und Abkürzungen	13
4 Grundsätze für die Planung und Ausführung von Erdarbeiten	16
4.1 Allgemeines	16
4.2 Arbeitsschritte von Erdbauprojekten	16
4.3 Anweisungen für die Ausführung von Erdarbeiten	17
4.4 Beziehung zwischen Erdarbeiten und Bemessung von Erdbauwerken	18
4.5 Nachhaltige Entwicklung und Umweltbetrachtungen für Erdarbeiten	19
4.6 Risikomanagement	20
4.7 Arten von Abläufen für die Erdarbeiten	21
5 Spezielle Baugrund- und Materialuntersuchungen	21
5.1 Für die Planung von Erdarbeiten benötigte Angaben	21
5.2 Koordination von Baugrunduntersuchungen	22
5.2.1 Allgemeines	22
5.2.2 Baugrunduntersuchungen für die geotechnische Bemessung	22
5.2.3 Spezielle Baugrunduntersuchungen für Erdarbeiten	23
5.2.4 Geotechnischer Bericht	24
5.3 Anwendung von Klassifizierungssystemen	24
6 Planung von Erdarbeiten für Aufschüttungen	25
6.1 Einleitung	25
6.2 Vorgehen bei der Planung	26
6.2.1 Allgemeines	26
6.2.2 Aufschüttungen	26
6.3 Wahl der Eigenschaften des Einbaumaterials und des Verdichtungsprozesses	31
6.3.1 Allgemeines	31
6.3.2 Beschreibung von Materialien	32
6.3.3 Kriterien für die Bewertung von verdichtetem Einbaumaterial	33
6.3.4 Verdichtungsverhalten von Einbaumaterialien	34
6.3.5 Korrelationsversuch zur Bewertung der Eigenschaften der Schüttung	36
6.3.6 Zusammenhang zwischen dem Bauverfahren und der Planung der Aufschüttung	37
6.3.7 Anwendung von Großversuchen für die Bewertung des Verdichtungsvorgangs für ein bestimmtes Einbaumaterial	37
6.3.8 Entwurf des Querschnitts der Aufschüttung	38
6.4 Einzelheiten besonderer Bauteile, Materialien und Erdbauwerke	38
6.4.1 Einleitung	38
6.4.2 Planumsschichten	38
6.4.3 Übergangsbereiche	39
6.4.4 Aufschüttungen in Hanglage	41
6.4.5 Besondere Materialien	42
6.4.6 Hohe Aufschüttungen	43
6.4.7 Aufschüttungen auf weichen Böden oder Überflutungsgebieten	44

6.4.8	Über Hohlräumen errichtete Aufschüttungen.....	44
6.4.9	Überschüssige Materialien	45
7	Planung von Erdarbeiten für Einschnitte.....	45
7.1	Allgemeines	45
7.2	Auszuhebende Materialien	45
7.3	Geometrie.....	46
7.4	Entwässerung	46
7.5	Gesamtstandsicherheit	46
7.6	Maßgebende Eigenschaften der Einschnittsohle (Unterbau)	47
8	Planung von Erdarbeiten, die durch Nassbaggern und hydraulisches Einbringen der Aufschüttungen ausgeführt werden.....	47
9	Bemessung von Erdarbeiten zur hydraulischen Einbringung von Abfällen.....	48
10	Entwässerung für Erdarbeiten	49
10.1	Entwässerung zum Sammeln von Wasser	49
10.2	Schutz von Böschungen gegen Erosion.....	51
11	Optimierung der Bemessung des Erdbauprojekts.....	52
12	Technische Anforderungen für Erdarbeiten	53
12.1	Allgemeines	53
12.2	Anforderungen an die fertige Leistung	55
12.3	Anforderungen an das Verfahren.....	55
12.4	Leistungsanforderung	56
13	Überwachung von Erdarbeiten und Überprüfung der Leistung von Erdbauwerken.....	56
13.1	Einleitung	56
13.2	Anforderungen und Verfahren zur Überwachung und Überprüfung von Erdarbeiten.....	57
13.3	Überprüfung der Ausführung von Erdbauwerken.....	58
14	Anwendung nationaler Erfahrungen und nicht entgegenstehender Regeln.....	58
14.1	Allgemeines	58
14.2	Informative Beispiele für auf Erfahrungen beruhende nationale Verfahrensweisen	59
	Anhang A (informativ) Geometriefestlegungen für Erdarbeiten und Erdbauwerke	60
	Anhang B (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Österreich	63
B.1	Einleitung	63
B.2	Boden- und Felsklassifizierung.....	64
B.2.1	Bodenklassifizierung nach ÖNORM B 4400-1.....	64
B.2.2	Boden- und Felsklassifizierung nach ÖNORM B 2205.....	64
B.3	Ausführung von Erdarbeiten.....	64
B.3.1	Allgemeines	64
B.3.2	Boden- und Felsaushub.....	65
B.3.3	Vorbereitung des Planumsniveaus des Untergrunds (Erddammfundamente)	66
B.4	Bau von Erddämmen und Schüttungen.....	66
B.4.1	Baumaterialien.....	66
B.4.2	Einbringung und Verdichtung	67
B.4.3	Bau der Planumsebene des Unterbaus.....	69
B.4.4	Bau von Erddämmen und Einschnittböschungen	70
B.4.5	Hinterfüllung und Aufschüttung von Bauwerken	71
B.4.6	Verfüllung von Leitungsgräben und Überschütten von Leitungen (Rohre, Kabel).....	75
B.4.7	Maßnahmen zur Verbesserung von Untergrund und Schüttungen.....	76
B.5	Qualitätskontrolle (Prüfungen)	78
B.5.1	Allgemeines	78
B.5.2	Prüfarten	79
B.5.3	Prüfverfahren	79
B.6	Literaturhinweise.....	83

Anhang C (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Frankreich	85
C.1 Einleitung	85
C.2 Klassifizierung von Materialien	85
C.3 Bemessung von Erdarbeiten	89
C.3.1 Einleitung	89
C.3.2 Festlegung der zu erreichenden mechanischen Eigenschaften	89
C.3.3 Klassifizierung von Materialien hinsichtlich ihres Wassergehalts und der Wetterbedingungen	91
C.3.4 Einbaumaterial	93
C.3.5 Planumsschicht	95
C.3.6 Verdichtung der Aufschüttung	98
C.3.7 Abbau und Transport von Böden und Fels	101
C.3.8 Verdichtung von Materialien	101
C.4 Steuerung von Erdarbeiten	102
C.4.1 Einleitung	102
C.4.2 Technische Abläufe und Kontrollverfahren	102
C.5 Literaturhinweise	106
Anhang D (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Deutschland	108
D.1 Einleitung	108
D.2 Klassifizierung von Materialien	109
D.2.1 Klassifizierung nach DIN 18196	109
D.2.2 Klassifizierung nach DIN 18300	114
D.2.3 Klassifizierung von Bodengruppen nach ihrer Frostempfindlichkeit nach ZTV E-StB	116
D.3 Ausführung von Erdarbeiten	116
D.3.1 Allgemeines	116
D.3.2 Lösen, Laden und Transportieren	116
D.3.3 Einbringen und Verdichten	116
D.3.4 Besondere Bauverfahren im Erdbau nach ZTV E-StB	119
D.4 Kontrolle von Erdarbeiten	120
D.4.1 Prüfungsarten	120
D.4.2 Prüfverfahren	121
D.5 Literaturhinweise	122
Anhang E (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Norwegen	125
E.1 Einleitung	125
E.2 Klassifizierung von Materialien	125
E.3 Bemessung der Erdarbeiten	126
E.3.1 Nassbaggerung	126
E.3.2 Unterwassersprengung	127
E.3.3 Transport auf See	127
E.3.4 Verteilung und Verdichtung von Schüttungen	127
E.3.5 Aufschüttungen unter Wasser	137
E.3.6 Austausch/Verschiebung weicher Böden	140
E.3.7 Einfluss von Wetterbedingungen	140
E.4 Qualitätskontrolle von Erdarbeiten	140
E.5 Literaturhinweise	142
Anhang F (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Spanien	143
F.1 Einleitung	143
F.2 Klassifizierung von Materialien	143
F.2.1 Allgemeines	143
F.2.2 Bodenklassen	143
F.2.3 Klassen von Schüttungen, die aus felsigen Materialien errichtet werden	146
F.3 Mögliche Verwendung grenzwertiger Materialien	146
F.3.1 Allgemeines	146
F.3.2 Einige grenzwertige Böden	146

F.3.3	Einige grenzwertige Felsmaterialien	147
F.4	Vorausgehende Bemessung des Erdbauwerk-Querschnitts	148
F.5	Arten von zu errichtenden Erdbauwerken	150
F.6	Grundlegende Bauvorschriften	150
F.6.1	Vorbereitung der Baugrundfläche für den Bau der Erd- oder Felsaufschüttung	150
F.6.2	Erdaufschüttungen	150
F.6.3	Felsaufschüttungen und willkürliche Schüttungen	152
F.7	Kontrolle der Erdarbeiten	153
F.7.1	Allgemeines	153
F.7.2	Erdaufschüttungen	153
F.7.3	Felsaufschüttungen und willkürliche Schüttungen	154
F.8	Literaturhinweise	155
Anhang G (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Schweden		156
G.1	Einleitung	156
G.2	Klassifizierung von Materialien	156
G.2.1	Einleitung	156
G.2.2	Bodenklassifizierung	156
G.2.3	Klassifizierung von Fels	158
G.3	Bemessung von Erdarbeiten	158
G.4	Kontrolle der Erdarbeiten	158
Anhang H (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Vereinigtes Königreich		160
H.1	Einleitung	160
H.2	Klassifizierung von Materialien	161
H.3	Bemessung von Erdarbeiten	163
H.3.1	Allgemeines	163
H.3.2	BS 6031:2009, 8.2: Anforderung von Erdarbeiten mit dem SHW-Ansatz	164
H.3.3	In der SHW verlangte Dokumentation in einer Erdbau-Anforderung	165
H.3.4	Anforderungen an die Verdichtung (Klassifizierung, Bemessung und bauliche Aspekte)	165
H.3.5	Alternative Anforderungen	165
H.3.6	Zusätzliche Anforderungen an tief liegende Schüttflächen/Gebäude und Bauwerke	166
H.3.7	Auswahl von Einbaumaterialeigenschaften (Bemessung von Erdaufschüttungen)	166
H.3.8	Auszüge aus den Kerntabellen der britischen <i>Specification for Highway Works</i> (SHW)	169
H.4	Kontrolle der Erdarbeiten während des Baus	173
H.5	Literaturhinweise	173
Literaturhinweise		175

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 16907-1:2018) 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 Bestandteil der folgenden, zu EN 16907, *Erdarbeiten* zusammengefassten Europäischen Normenreihe. Die Normenreihe, die vom Technischen Komitee CEN/TC 396 erarbeitet wurde, gliedert sich in mehrere Teile, die verschiedenen Stufen der Planung, Ausführung und Überwachung von Erdarbeiten entsprechen und zusammen als eine Gruppe von Normen für die Ausführung von Erdarbeiten betrachtet werden sollten. Die vollständige Reihe von Teilen ist wie folgt:

- EN 16907-1, *Erdarbeiten — Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln* (dieses Dokument)
- EN 16907-2, *Erdarbeiten — Teil 2: Materialklassifizierung*
- EN 16907-3, *Erdarbeiten — Teil 3: Ausführung von Erdarbeiten*
- EN 16907-4, *Erdarbeiten — Teil 4: Bodenbehandlung mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln*
- EN 16907-5, *Erdarbeiten — Teil 5: Qualitätskontrolle und Überwachung*
- EN 16907-6, *Erdarbeiten — Teil 6: Landgewinnung mit nassgebagertem Einbaumaterial*
- EN 16907-7, *Erdarbeiten — Teil 7: Hydraulische Einbringung von mineralischen Abfällen*

Innerhalb dieser Norm sind Verweisungen auf einzelne Teile der Norm vollständig ausgeschrieben (z. B. „EN 16907-2“).

Diese Normen zu Erdarbeiten sind nicht für die Umweltplanung und den Entwurf, die Bemessung und Berechnung in der Geotechnik anwendbar, welche die geforderte Form und die Eigenschaften des zu errichtenden Erdbauwerks bestimmen. Sie sind für die Bemessung der Erdbaumaterialien sowie die Ausführung, Überwachung und Überprüfung der Erdbauabläufe anwendbar, um sicherzustellen, dass das fertiggestellte Erdbauwerk dem geotechnischen Entwurf genügt.

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.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm (Teil 1) legt Definitionen, Grundsätze und allgemeine Regeln für die Planung, Bemessung und Spezifikationen von Erdarbeiten fest. Sie führt in die anderen Teile der Normenreihe ein, welche gemeinsam mit Teil 1 angewendet werden.

Erdarbeiten sind Baumaßnahmen, die darauf abzielen, Erdbauwerke zu schaffen, indem die Geometrie der Erdoberfläche für Bauarbeiten oder andere Aktivitäten geändert wird. Anwendungsgebiete von Erdarbeiten sind im Wesentlichen:

- Verkehrsinfrastrukturen (Straßen und Autobahnen, Schienenwege, Wasserwege, Flughäfen);
- Unterbauten für Industrie-, Gewerbe- und Wohngebäude;
- Wasserbau-, Hochwasserschutz- und Küstenschutzanlagen;
- Hafenanlagen und Flughafengelände, einschließlich Errichtung von Aufschüttungen im Wasser;
- Flussdeiche und Meeresdämme zur Landgewinnung;
- Erd- und Steinschüttdämme;
- Dämme auf dem Festland aus hydraulisch eingebrachtem Auffüllmaterial;
- Lärmschutzwälle, Sichtbarrieren und andere nichttragende Erdbauwerke;
- Aufschüttungen zur Landschaftsgestaltung;
- Verfüllung von Tagebaugruben und Steinbrüchen;
- Umschließungsdämme um Absetzteiche.

Sie zeichnen sich durch die Notwendigkeit aus, vorhandene natürliche oder wiederaufbereitete Materialien zu verwenden und sie in einer Weise zu handhaben, dass die vorgeschriebenen Eigenschaften erreicht werden.

Diese Norm gilt mit Ausnahme der nachstehend aufgeführten für alle Arten von Erdbauwerken:

- bestimmte Arten von Erdbauwerken, z. B. Gräben und kleine Erdbauwerke, die nach vereinfachten oder besonderen Regeln ausgeführt werden dürfen;
- für Deiche und Dämme sind Erdarbeiten erforderlich, bei denen spezielle Anforderungen an die Planung und den Bau gestellt werden; diese können über die in dieser Norm festgelegten Regeln hinausgehen.

Diese Norm deckt keine Bodenverbesserung unterhalb eines Erdbauwerks durch Techniken wie Erdkörper auf punkt- und linienförmigen Traggliedern, Düsenstrahlverfahren, Mischen mit tiefem Boden, senkrechte Dräns oder Schottersäulen ab.

Aufgrund der schwankenden Untergrund- und Klimabedingungen innerhalb von Europa sowie der unterschiedlichen nationalen Vertragsbedingungen wurden nationale Regeln in mehreren Europäischen Ländern festgelegt, die innerhalb eines kurzen Zeitraums nicht durch eine Europäische Norm harmonisiert werden konnten. Diese Europäische Norm enthält daher Grundregeln zur Erreichung der vorgenannten Ziele. Die informativen Anhänge B bis H in diesem Dokument enthalten Beispiele für nationale Verfahrensweisen, die diesen Regeln folgen.

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

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

EN 16907-2, *Erdarbeiten — Teil 2: Materialklassifizierung*

EN 16907-3, *Erdarbeiten — Teil 3: Ausführung von Erdarbeiten*

EN 16907-4, *Erdarbeiten — Teil 4: Bodenbehandlung mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln*

EN 16907-5, *Erdarbeiten — Teil 5: Qualitätskontrolle und Überwachung*

EN 16907-6, *Erdarbeiten — Teil 6: Landgewinnung mit nassgebagertem Einbaumaterial*

3 Begriffe, Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten 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>

ANMERKUNG Die Geometrie von Erdbauwerken und ihren Teilen (Schichten, Oberflächen usw.) wird in verschiedenen Sprachen und Ländern nicht immer in der gleichen Art und Weise beschrieben. Zeichnungen, die die Bedeutung dieser geometrischen Begriffe erklären, sind im informativen Anhang A enthalten.

3.1 Begriffe

3.1.1

Luftporenanteil

Verhältnis des Luftvolumens zum Gesamtvolumen des Bodens

3.1.2

Bindemittel

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

3.1.3

Volumenvergrößerung

Volumenänderung einer Bodenmasse infolge der Bearbeitung (üblicherweise eine Volumenzunahme nach Aushub)

3.1.4

Planumsschicht^{N1)}

spezielle Übergangsschicht, Teil der Dammkrone der Aufschüttung, die unterhalb des Oberbaus angeordnet ist; die Planumsschicht ist Teil des Erdbauwerks

3.1.5

Klassifizierung

Definition von Klassen und Zuordnung von Materialien in Klassen mit ähnlichen Eigenschaften für Erdarbeiten

3.1.6

Verdichtung

Verdichtung von Einbaumaterial durch einen mechanischen Prozess zum Erreichen der vorgeschriebenen Eigenschaften der Aufschüttung

3.1.7

Verdichtungsleistung

Gesamtmaß des physischen Kraftaufwandes, der aufgebracht wird, um eine Schicht einer Aufschüttung zu verdichten, welches folgendes widerspiegelt: Masse des Verdichtungsgeräts/m², Anzahl von Walzenübergängen, Geschwindigkeit der Walze, Schwingungsfrequenz und Schichtdicke

3.1.8

Einschnitt

lineares Erdbauwerk, das durch den Aushubvorgang hergestellt wird

3.1.9

Verdichtungsgrad (der Aufschüttung)

Verhältnis zwischen der *in-situ* Trockendichte von verdichtetem Einbaumaterial und der maximalen Trockendichte, die aus einem genormten Labor-Verdichtungsversuch erhalten wird

3.1.10

Sättigungsgrad

Verhältnis des Porenwasservolumens zum Porenvolumen

3.1.11

Beschreibung

Identifizierung und Benennung eines vorhandenen Materials und seiner physikalischen und bodenmechanischen Eigenschaften, die für Erdarbeiten maßgebend sind

3.1.12

Bemessung von Erdbauwerken

Entwurf und Nachweis des Erdbauwerks nach der Normenreihe EN 1997 zur Erfüllung der für die künftige Nutzung sicherzustellenden funktionalen Anforderungen

3.1.13

Planung von Erdarbeiten

Festlegung des Bauablaufs zur Herstellung eines definierten Erdbauwerks

N1) Nationale Fußnote: In der englischen Fassung wird „Capping Layer“ als genereller Begriff für eine Lage, die unterhalb des Planums eingebaut wird und ggf. bestimmte Eigenschaften besitzt, verwendet. Diesen Begriff gibt es im deutschen Sprachgebrauch nicht. Er wird im Weiteren mit „Planumsschicht“ übersetzt.

3.1.14

Nassbaggerung

Aushubarbeiten oder -verfahren, die in der Regel zumindest teilweise unter Wasser, in flachen Meeren oder Binnengewässern durchgeführt werden, mit dem Zweck, Bodensedimente aufzusammeln und sie an einem anderen Ort einzubringen

3.1.15

Trockendichte

Masse der festen Körner geteilt durch das Gesamtvolumen einer Probe

3.1.16

Erdbauwerk

durch Erdarbeiten (Einschnitt, Aufschüttung, Auffüllung) entstandenes Tiefbauwerk, das aus Boden, Fels, Nebenprodukten oder wiederaufbereiteten Materialien hergestellt wird

3.1.17

Erdarbeiten

Tiefbaumaßnahme zur Änderung der Geometrie der Bodenoberfläche durch Schaffung standsicherer und dauerhafter Erdbauwerke

3.1.18

Bauausführender der Erdarbeiten

Person oder Organisation, die für die Ausführung von Erdarbeiten verantwortlich ist

3.1.19

Planer der Erdarbeiten

Person oder Organisation, die für die Bemessung von Erdarbeiten verantwortlich ist

3.1.20

Erddamm

allgemeine Bezeichnung für ein Erdbauwerk, das durch Aufschüttung zur Herstellung eines freistehenden Erdbauwerks entsteht (einschließlich linearer Merkmale und nichtlinearer Tragschichten)

3.1.21

Anforderung an die fertige Leistung

Spezifikation, die erfordert, dass Erdbauwerke so gebaut werden, dass festgelegte bautechnische Kriterien in Bezug auf die verdichtete Schüttung erreicht werden

3.1.22

Aushub

Oberbegriff, der sowohl für den Prozess des Aushubs des Bodens oder für die resultierende Änderung der Bodenoberfläche, entweder für ein zeitweiliges oder dauerhaftes Erdbauwerk, verwendet wird

3.1.23

mineralische Abfälle

mineralische Abfälle, die aus Abbauvorgängen von Bodenschätzen stammen

3.1.24

Schüttung

Sammelbezeichnung, die in dieser Norm verwendet wird, um alle Erdbauwerke zu beschreiben, die durch das Einbringen von Einbaumaterial in kontrollierter Art und Weise für einen bautechnischen Zweck errichtet werden (einschließlich Erddamm, Verfüllung, Tragschicht usw.)

3.1.25

Einbaumaterial

Material, das zur Herstellung einer Aufschüttung verwendet wird

3.1.26

Einbaubereich

Unterteilung einer Schüttung (oder Teil eines Erdbauwerks), wie beispielsweise die Dammaufstandsfläche, Dammkern, Dammschultern und Dammkrone

3.1.27

einbauen

Prozess des Einbringens von Einbaumaterial, um ein temporäres oder dauerhaftes Erdbauwerk herzustellen

3.1.28

Planum

vorbereitete Oberfläche, auf der die Aufschüttung oder der Oberbau errichtet wird

3.1.29

Aufspülmaterial

hydraulisches Auffüllmaterial

Material, das in einem flüssigem Zustand, als ein Gemisch von Bodenteilchen und Wasser in beabsichtigter Art und Weise eingebracht wird, so dass sich die Bodenteilchen als eine Ablagerung ansammeln und sich verdichten, wenn eine weitere Auffüllung darüber eingebracht wird, um einen Einbaukörper zu erzeugen

3.1.30

Verfüllung

Erdbauwerk, das hergestellt wird, indem ein Hohlraum oder eine Vertiefung in kontrollierter Art und Weise verfüllt wird, um eine Auffüllung aus der technischen Schüttung herzustellen, der nicht freistehend ist (einschließlich Aushubverfüllung, Einbau hinter einem Erddamm zum Zweck der Landgewinnung, Verfüllung von Bergwerken usw.)

3.1.31

Materialien

bei Erdarbeiten verwendete Böden, Fels, industrielle Nebenprodukte und wiederaufbereitete mineralische Materialien zur Konstruktion von Erdbauwerken; in dieser Norm umfasst der Begriff „Materialien“ keine Bindemittel, Geokunststoffe und sonstigen Werkstoffe, die mit ihrer eigenen Benennung bezeichnet werden

3.1.32

Matratzenbildung

Verhalten von Boden, der während der Verdichtung zu feucht ist, was zur Bildung von Wellen und Instabilität der Verdichtungsanlage führt und weitere Verdichtung verhindert

3.1.33

maximale Trockendichte

Maximalwert der Trockendichte, der in der Referenzverdichtungsprüfung (Proctorversuch oder modifizierter Proctorversuch, Verdichtung mit Vibrationshammer oder jede andere Verdichtungsprüfung) erhalten wurde; dieser Wert bezieht sich auf einen Wassergehalt, der auch als optimaler Wassergehalt bezeichnet wird

3.1.34

Anforderung an das Verfahren

Anforderung an die Herstellung von Erdbauwerken unter Verwendung von festgelegten Materialien, Arbeitsgeräten und Verfahren

3.1.35

natürlicher Boden oder Fels

Boden oder Fels, der sich entweder in seiner ursprünglichen geologischen Form befindet oder ausgehoben wurde, aber durch menschliche Tätigkeiten nicht grundlegend verändert wurde, ausgenommen Abläufe für die Erdarbeiten wie Ausheben, Sieben und Zerkleinern, Trocknen (oder die in dieser Norm beschriebenen Verfahren)

3.1.36

nichttragende Aufschüttung

Aufschüttung, die keine Infrastruktur tragen wird

3.1.37

optimaler Wassergehalt

Wassergehalt, bei dem eine festgelegte Verdichtungsleistung eine Bodenmasse auf ihre maximale Trockendichte verdichten kann

3.1.38

Überverdichtung

übermäßige Verdichtung durch Belastungsintensität oder -dauer, was zu einem übermäßig hohen Porenwasserdruck führt, der zu nicht annehmbaren Eigenschaften der Schüttung führt (z. B. Matratzenbildung)

3.1.39

Leistungsanforderung

Anforderung, die die Festlegung der Arbeiten in Bezug auf langfristige Projektanforderungen, die üblicherweise auf einem relativ hohen Niveau festgelegt werden, beinhaltet

3.1.40

Eigenschaften

physikalische, mechanische und chemische Merkmale eines Materials

3.1.41

Qualitätssicherung

geplante und systematische Maßnahmen, die erforderlich sind, um zu bestätigen, dass das Erdbauwerk im Einsatz zufriedenstellend arbeitet, d. h. dass es nach den festgelegten Anforderungen gebaut wurde

3.1.42

Qualitätskontrolle

System zur Überwachung, Bewertung und Anpassung der Bau-/Ausführungsprozesse um sicherzustellen, dass das Endprodukt der festgelegten Qualitätsstufe entspricht

3.1.43

Sekundäreinbaumaterial

Material, das durch menschlichen Gebrauch für einen bestimmten Zweck grundlegend verändert wurde und dann als Einbaumaterial für Erdarbeiten wiederverwendet wird (dazu können gehören: aufbereitetes Material, Nebenprodukt, Sekundärzuschlag usw.)

3.1.44

Spezifikation (technische Spezifikation)

Dokument oder Reihe von Bestimmungen, in dem die technischen Anforderungen für den Bau und die Steuerung der Erdarbeiten festgelegt sind (in Verbindung mit den Projektzeichnungen zu lesen)

3.1.45

geeignetes Material

Einbaumaterial, bei dem die Bodeneigenschaften vor der Verdichtung die Anforderungen der technischen Spezifikation für Erdarbeiten erfüllen und bei dem das Material in einem Zustand ist, so dass es innerhalb der Erdarbeiten entsprechend den Anforderungen verdichtet werden kann

3.1.46

Oberbau

Bauwerk, das sich auf einer Aufschüttung befindet (Beispiele für Oberbauten sind: Fahrbahnbefestigung, Gleiskörper, Gebäude, Gerüste usw.)

3.1.47

Befahrbarkeit

Fähigkeit einer Materialoberfläche, die Überfahrt von Ausrüstung für Erdarbeiten zu tragen

3.1.48

behandeltes Einbaumaterial

Einbaumaterial, das durch die Zugabe eines Bindemittels verändert wurde

3.1.49

ungeeignetes Material

Einbaumaterial, das im derzeitigen Zustand für eine Verwendung nicht geeignet ist, da die Bodeneigenschaften vor der Verdichtung die Anforderungen der technischen Spezifikation für Erdarbeiten nicht erfüllen; nach einer Behandlung zur Anpassung der Bodeneigenschaften können diese Materialien geeignet sein

3.1.50

Wassergehalt

Verhältnis des Gewichtes des in einer bestimmten Probe enthaltenen Wassers zum Gewicht der trockenen Bodenbestandteile

3.2 Symbole und Abkürzungen

Abkürzungen und Symbole sind nachstehend in alphabetischer Reihenfolge der Abkürzungen, gefolgt von den Symbolen aufgelistet.

Abkürzungen

CBR	CBR-Versuch California Bearing Ratio-Versuch
CBRi	eingetauchter (getränkter) CBR-Versuch
CCC	kontinuierliche Verdichtungskontrolle (en: continuous compaction control)
CPT	Drucksondierung (en: static cone penetrometer test)
DG	Abbaubarkeitsversuch
DPT	Rammsondierung (en: dynamic cone penetration test)
FR	Brechbarkeitsversuch
IPI	IPI-Versuch oder Prüfung des direkten Tragindex
LA	Los-Angeles-Versuch
MCV	Versuch für den Feuchtigkeitszustand-Wert (en: moisture condition value test)
MDE	Micro-Deval-Versuch
SPT	Standard Penetration Test

Symbole für Parameter

a_v	Luftporenzahl	dimensionslos
c'	wirksame Kohäsion	kPa
C_c	Krümmungszahl	dimensionslos
C_{CaCO_3}	Kalziumkarbonatgehalt	dimensionslos (%)

C_{OM}	Gehalt an organischer Substanz	dimensionslos (%)
C_U	Ungleichförmigkeitszahl	dimensionslos
C_{salt}	Gehalt löslicher Salze	dimensionslos (%)
C_x	Massenanteil von Teilchen feinkörniger als x (mm)	dimensionslos (%)
D_{max}	maximale Abmessung der größten im Boden enthaltenen Elemente	mm
D_{Pr}	Verdichtungsgrad $\rho_d/\rho_{dmax} = \gamma_d/\gamma_{dmax}$	dimensionslos
D_x	Korngröße, bei der x % feinkörniger sind	mm
e	Porenzahl	dimensionslos
E	Elastizitätsmodul	MPa
E_c	Elastizitätsmodul unter Druckbeanspruchung	
E_{it}	Elastizitätsmodul bei indirekter Zugbeanspruchung	
E_t	Elastizitätsmodul bei direkter Zugbeanspruchung	
$E_{V1} (M_1)$	Lastplattendruckversuchsmodul E_{V1}	
$E_{V2} (M_2)$	Lastplattendruckversuchsmodul E_{V2}	
G_v	Volumenquellung	
I_c	Konsistenzzahl	
I_{CBR}	California Bearing Ratio-Index CBR-Index	
I_{CBRi}	CBR-Index nach Wasserlagerung	
I_D	bezogene Lagerungsdichte	
I_{DG}	Abbaubarkeitskoeffizient	
I_{FR}	Brechbarkeitskoeffizient	
I_{FS}	Zerreibbarkeitskoeffizient für feine Gesteinskörnung	
I_{IPI}	direkter Tragfähigkeitsindex IPI-Index	
I_m	Thornwaithe-Index	
I_{MCV}	Index für den Feuchtigkeitszustands-Wert	
I_p	Plastizitätszahl	
I_r	Verhältnis der Festigkeit nach Wasserlagerung (R_i/R)	
I_{s50}	Punktlast-Index	
$LA^{(1)}$ oder C_{LA}	Los-Angeles-Koeffizient (1) verwendet in Prüfnorm EN 1097-2	
L_s	lineare Quellamplitude (CBR-Form)	

MDE ⁽²⁾ oder C_{MDE}	Micro-Deval-Koeffizient (2) verwendet in Prüfnorm EN 1097-1
n	Porosität
n_a	Luftporenanteil = Luftvolumen/Gesamtvolumen
P	Grad der Pulverisierung
R	Druckfestigkeit oder Zugfestigkeit
R_c	Druckfestigkeit
R_i	Druckfestigkeit oder Zugfestigkeit nach Wasserlagerung
R_{it}	indirekte Zugfestigkeit
R_t	Zugfestigkeit
S_r	Sättigungsgrad
V_{BS}	Methylenblau-Wert (Anteil 0/50 mm)
V_p	Kompressionswellengeschwindigkeit
V_s	Transversalwellengeschwindigkeit
w	Wassergehalt
w_L	Fließgrenze
w_n	natürlicher Wassergehalt
w_{OPM}	optimaler Wassergehalt (modifizierter Proctorversuch)
w_{OPN}	optimaler Wassergehalt (Proctorversuch)
w_P	Ausrollgrenze
w_S	Schrumpfgrenze
$x \% \rho_{dmaxOPN}$	Anteil x % der maximalen Trockendichte auf der Bezugs-Proctorkurve
ε_{coll}	lineare Sackungsdehnung (Ödometer)
ε_{sw} oder ε_g	lineare Quelldehnung
ε_{vsw} oder ε_{vg}	Volumenquelldehnung
γ	spezifisches Gewicht (Einheitsgewicht)
γ_b	Wichte
γ_d	spezifische Trockendichte
γ_{dn}	spezifische <i>in-situ</i> Trockendichte
$\gamma_{dmaxOPM}$	maximale spezifische Trockendichte bei optimalem Wassergehalt in modifiziertem Proctorversuch (OPM)
$\gamma_{dmaxOPN}$	maximale spezifische Trockendichte bei optimalem Wassergehalt in Proctorversuch (OPN)
ν	Poissonzahl

φ'	Reibungswinkel
P (Reibungswinkel in Grad)	Dichte
ρ	
ρ_b	Einbaudichte
ρ_d	Trockendichte
$\rho_{dmaxOPM}$	maximale Trocken(massen)dichte bei optimalem Wassergehalt im modifiziertem Proctorversuch (OPM)
$\rho_{dmaxOPN}$	maximale Trocken(massen)dichte bei optimalem Wassergehalt im Proctorversuch (OPN)
ρ_{dn}	<i>in-situ</i> Trockendichte

4 Grundsätze für die Planung und Ausführung von Erdarbeiten

4.1 Allgemeines

Erdarbeiten umfassen das Lösen, das Laden, den Transport (Bewegung von Einbaumaterial), die Behandlung/Verbesserung, den Einbau, Verfestigung und Verdichtung natürlicher Materialien (Böden, Fels), industrieller Nebenprodukte oder wiederaufbereiteter Materialien, um stabile und dauerhafte Einschnitte oder Aufschüttungen mit vorgeschriebenen Eigenschaften zu erhalten. Diese Arbeiten können unter Wasser ausgeführt werden. Erdarbeiten erfordern Planung, Bemessung, Bau und Instandhaltung. Sie hängen von den Eigenschaften der Einbaumaterialien, den geforderten Eigenschaften des Erdbauwerks und von den Umweltbedingungen ab.

Dieses Dokument enthält Regeln in Bezug auf die Organisation von Erdbauprojekten und ihre Bemessung und Planung.

4.2 Arbeitsschritte von Erdbauprojekten

Jedes Erdbauprojekt umfasst zwei Hauptarbeitsschritte:

- Untersuchungen vor Baubeginn, einschließlich:
 - Planung der zu errichtenden Erdbauwerke;
 - Baugrunduntersuchung und Klassifizierung von Materialien (Abschnitt 5 dieser Norm und EN 16907-2:2017, Abschnitt 5);
 - Bewertung der Verträglichkeit der Materialien mit den geforderten Eigenschaften des Erdbauwerks (Abschnitte 6, 7, 8 und 9);
 - Auswahl eines Bauverfahrens (EN 16907-1, EN 16907-3, EN 16907-6 und EN 16907-7);
 - Optimierung der Erdarbeiten bezogen auf das Gesamtprojekt (Abschnitt 11)
 - Festlegung der Anforderungen an die Ausführung der Arbeiten (Bauverfahren, Überwachung, Qualitätskontrolle), (EN 16907-1, EN 16907-3, EN 16907-5, EN 16907-6 und EN 16907-7);
- Ausführung der Arbeiten (Bau):
 - Bau des Erdbauwerks vor Ort;

- Überprüfung der Planungsannahmen;
- Ausführung der Arbeiten wie festgelegt;
- Überwachung des Untergrunds (z. B. Standsicherheit der Böschungen);
- Qualitätskontrolle/Qualitätssicherung;
- Überprüfung der Eigenschaften des fertig gestellten Erdbauwerks hinsichtlich der Einhaltung der Anforderungen mit dem Ziel der Abnahme des Erdbauwerks.

4.3 Anweisungen für die Ausführung von Erdarbeiten

Aus der Planung von Erdarbeiten müssen detaillierte Anweisungen hervorgehen, die während der Ausführung der Arbeiten erfüllt werden müssen. Diese Norm legt Anforderungen an die Planung von Erdarbeiten im Zusammenhang mit den Bestimmungen dieser Anforderung fest. Die folgende Auflistung enthält Beispiele für Punkte oder Bauvorgaben, die aus der Planung von Erdarbeiten heraus festgelegt werden dürfen. Die Vorgaben werden auf das betreffende Projekt abgestimmt sein (diese Auflistung erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit):

- Vorbereitung der Bauflächen:
 - Einzelheiten zu bestehenden unterirdischen Leitungen, Fundamenten, Bauwerken, Gebäuden und Hindernissen, die von den Erdarbeiten betroffen sein können, und damit verbundene Einschränkungen;
 - Einschränkungen durch Oberflächen- und Grundwasser;
 - Anforderungen an die Entwässerung der Erdarbeiten;
- Materialien:
 - Beschreibung und Klassifizierung von Böden, Fels und anderen Materialien, nach EN 16907-2;
 - akzeptable Eigenschaften und Zustandsformen von Einbaumaterialien für die Verwendung für Erdarbeiten;
 - Einschränkungen bezüglich der Verwendung bestimmter Materialien;
 - Behandlung und Verarbeitung von Materialien für die Verwendung als Einbaumaterial;
- für Aufschüttungen und Einschnitte:
 - Größe (Volumen), Art, Lage, Abmessungen und Aufbau der Erdbauwerke;
 - Anzahl, Art, Lage, Abmessungen, Ausbildung und Zweck von Baugruben, Entnahmegruben und Gräben, einschließlich Mindestabmessungen des Arbeitsraums;
 - Einbau von Geokunststoffen;
 - Vorbereitung der Bauflächen vor dem Einbringen einer Aufschüttung;
 - Maßnahmen zum Schutz der hergestellten Aufschüttungen, einschließlich Entwässerung der Erdarbeiten;
- Anforderungen an die Qualitätskontrolle und Qualitätssicherung:
 - Anforderungen und Prüfung der Verdichtung zum Nachweis der Übereinstimmung mit den technischen Anforderungen;

- Ermittlung der zulässigen geometrischen Toleranzen wie z. B. Planumshöhe und Schichtdicken;
- Hinweise, die sich aus technischen Berichten und Analysen ergeben, sowie Anforderungen, die während des Baus zu berücksichtigen sind;
- zeitweise und dauerhafte Schutzmaßnahmen:
 - Schutz von Baugruben und Gräben, Erddämmen und Böschungen;
 - Schutzschicht über dem Planum, Dicke der Planumsschutzschicht und Zeitpunkt der Entfernung;
- logistische Aspekte:
 - mögliche Transportwege mit Voraussetzungen und ggf. Einschränkungen für die Nutzung;
 - verfügbare Lager-/Haldenbereiche mit Anforderungen an Lagerbedingungen;
 - zeitliche Beschränkungen für den Bauablauf, wie zulässige Temperaturen, Arbeitsstunden, tageszeitbezogene akzeptable Geräuschpegel, überwachte Stillstandszeiten.

4.4 Beziehung zwischen Erdarbeiten und Bemessung von Erdbauwerken

Die Planung von Erdarbeiten bezieht sich auf die Auswahl der Eigenschaften des Einbaumaterials und die Festlegung der Anforderungen für die Erdbauabläufe, um sicherzustellen, dass das fertiggestellte Erdbauwerk den geotechnischen Entwurf erfüllt.

Die Bemessung von Erdbauwerken hinsichtlich ihrer Standfestigkeit und Verformungen ist in der Normenreihe EN 1997 (Eurocode 7) und weiteren maßgebenden Normen geregelt. Die Anforderungen an Eigenschaften und Funktionen des fertig gestellten Bauwerks (zum Beispiel: Geometrie, Steifigkeit, Tragfähigkeit, Durchlässigkeit) werden durch geotechnische und bautechnische Bemessungsverfahren festgelegt. Alle Normen über Erdarbeiten setzen voraus, dass das zu errichtende Erdbauwerk ordnungsgemäß bemessen wurde.

Bei Erdarbeiten bedeutet „Planung“ die „Festlegung des Prozesses“, der es ermöglicht, natürlichen Baugrund vor Ort (Boden oder Fels) und/oder Nebenprodukte oder wiederaufbereitete Materialien in eine gut verdichtete und dauerhafte Aufschüttung mit den geforderten Eigenschaften umzuwandeln oder einen stabilen Einschnitt herzustellen. Dieser Entscheidungsprozess umfasst die Beschreibung des natürlichen Untergrunds und die Wahl der geeigneten Arbeitsgeräte und der Regeln für die Planung des Abbaus, Transports, der Verdichtung und Kontrolle der Materialien. Das Ergebnis der Planung umfasst technische Anforderungen, Zeichnungen, Risikobewertungsberichte, Ausführungspläne, Zeitpläne, Arbeitsablaufpläne usw. Diese Bedingungen können durch auf Erfahrungen beruhende Vorschriften oder durch eine leistungsabhängige Bemessung erreicht werden.

Bei der Planung der Erdarbeiten ist Folgendes zu berücksichtigen:

- die Art des Bauwerks (Einschnitt, Erddamm usw.);
- die geforderte Geometrie und Eigenschaften des fertiggestellten Bauwerks;
- die Art und Beschaffenheit der zu bearbeitenden Materialien (EN 16907-2);
- die hydrologischen, hydrogeologischen und meteorologischen Zusammenhänge;
- die Bedeutung des zu errichtenden Erdbauwerks und die Folgen eines Versagens;
- die Arbeitsgeräte, die für die Ausführung der Arbeiten zur Verfügung steht (EN 16907-3);
- die Möglichkeiten, die eine Materialbehandlung für den Bau der Aufschüttung bietet (EN 16907-4).

Der Planer der Erdarbeiten erstellt technische Spezifikationen für die Ausführung der Arbeiten (EN 16907-3, EN 16907-4, EN 16907-6, EN 16907-7). Die Erdbauspezifikation legt Anforderungen fest, die während des Baus zu verschiedenen Themen erfüllt werden müssen, die folgendes enthalten können:

- Überwachungs- und Qualitätskontrollverfahren;
- die akzeptablen Eigenschaften von Einbaumaterialien und wie diese während der Ausführung der Arbeiten zu überprüfen sind;
- der mechanische Prozess, der für den Abbau, Transport, die Schichtung und Verdichtung und, sofern zutreffend, jegliche Verarbeitung oder Behandlung, um die Eigenschaften der Einbaumaterialien zu verändern, angewendet wird;
- die Bereiche, in denen Aufschüttungen errichtet werden dürfen;
- der Ort eines zeitweiligen oder dauerhaften Entsorgungsbereichs für überschüssige Materialien;
- die geplanten Arbeitsabläufe;
- die klimatischen Einschränkungen, z. B. wie bei Temperaturen nahe dem Gefrierpunkt, Arbeitseinschränkungen bezüglich Regen/nasser Witterung vorzugehen ist;
- die Verfahren und die Planung von Überwachungs- und Kontrollmaßnahmen während der Ausführung der Arbeiten;
- Anforderungen an den Schutz der Erdarbeiten um zu vermeiden, dass sich der Zustand des Einbaumaterials oder des Untergrunds verschlechtert.

Die Bemessung von Erdbauwerken hängt stark von den verfügbaren Materialien und der Möglichkeit ab, wie das erwartete Ergebnis durch Erdarbeiten erreicht werden kann. Von den Planern wird daher erwartet, dass sie mindestens die Planung der Erdarbeiten allgemein bei der Bemessung von Erdbauwerken berücksichtigen. Dabei müssen die verfügbaren Materialien, die Baugrundbedingungen, der Flächenbedarf einschließlich aller vorübergehenden Arbeiten und die Begrenzung der Auswirkungen auf die Umwelt während der Bauphase, während des Betriebs und bei künftigen Wartungsarbeiten berücksichtigt werden.

Baugrundbedingungen können umfassen:

- Einschränkungen aufgrund der Beschaffenheit: physische Anpassung an den Baugrund (Topografie, Geologie, Geomorphologie, Hydrogeologie, Klima und Klimaveränderung, Landnutzung), Überschwemmungen, Erdbeben, alte Tagebaugruben usw.;
- Einschränkungen aufgrund von: archäologischem /historischem Erbe, der Umgebung, den Eigentümern und Bewohnern, Blindgängern (Bomben) usw.;
- Einschränkungen aufgrund von vorhandenen öffentlichen Bedarfsleitungen (z. B. elektrische Leitungen, Wasserleitungen, Öl- und Gasleitungen).

Diese Einschränkungen werden üblicherweise bei dem Bauprojekt berücksichtigt und liegen außerhalb des Anwendungsbereiches dieser Norm.

4.5 Nachhaltige Entwicklung und Umweltbetrachtungen für Erdarbeiten

Bei der Bemessung von Erdarbeiten sollte die Nachhaltigkeit berücksichtigt werden. Für die Anwendung dieser Europäischen Norm ist unter einer nachhaltigen Entwicklung „ein andauernder, ausgeglichener Ansatz für wirtschaftliche Aktivität, Umweltverantwortung und sozialen Fortschritt“ zu verstehen. Einige Aspekte einer nachhaltigen Entwicklung werden auf der Projektebene behandelt und sind nicht direkt mit der Ausführung von Erdarbeiten verbunden.

Beispiele für den Beitrag von Erdarbeiten zu einer nachhaltigen Entwicklung sind:

- die Erhaltung von natürlichen Ressourcen durch Optimierung der Verwendung von Materialien vom Standort und, sofern geeignet, die Verwendung von Sekundärmaterialien;
- Begrenzung des Schwerlastverkehrs beim Transport von Materialien zur Baustelle;
- die Minimierung der Auslagerung von Lagerhalden, Entnahmegruben und Entsorgung von Materialien außerhalb des Geländes;

- die Anwendung von Verfahren mit geringen Auswirkungen auf die Umwelt, wie z. B. Belüftung oder Verwendung industrieller Nebenprodukte;
- Senkung des Energieverbrauchs für den Transport und die Verdichtung von Einbaumaterialien und Verringerung der emittierten Gase (Kohlendioxid);
- Verringerung des Wasserverbrauchs (Pflüge-/Berieselungsgeräte, staubbindende Produkte);
- Kostenoptimierung und Optimierung der Arbeitsdauer.

Die umweltbezogenen Betrachtungen betreffen entweder das fertiggestellte Erdbauwerk oder die Ausführung der Erdarbeiten. Diese Europäische Norm behandelt ausschließlich die Auswirkungen von Erdarbeiten. Folgendes ist zu berücksichtigen:

- Lärm und Erschütterungen;
- Straßenverkehr;
- Abfallentsorgung und Behandlung verunreinigter Böden;
- Staubproduktion, einschließlich Bindemitteln im Falle der Behandlung von Einbaumaterial;
- Luft- und Wasserverschmutzung;
- Entsorgung überschüssiger oder ungeeigneter Materialien vor Ort sowie außerhalb des Standorts;
- biologische Vielfalt.

All diese umweltbezogenen Fragen sind in Bezug auf bestehende Gesetze, vorhandene Normen und weitere bewährte Verfahrensregeln zu beantworten.

Bei Beginn eines neuen Projektes sollte das Vorkommen vorhandener verunreinigter Böden und die Möglichkeit des Einsatzes von Sekundärmaterialien von Anfang an berücksichtigt werden, um die Chancen für eine Wiederverwendung mit Bezug auf bestehende Rechtsvorschriften zu maximieren.

4.6 Risikomanagement

Wie bei allen Bautätigkeiten sollte auch bei komplexen Projekten, die Erdarbeiten beinhalten, ein Schwerpunkt auf dem Risikomanagement liegen. Die Bereiche für das Risikomanagement schließen Folgendes ein:

- programm- und qualitätsbezogene sowie finanzielle Risiken zur Sicherstellung der erfolgreichen Übergabe des Projektes;
- gesundheits- und sicherheitsbezogene Risiken zusammen mit umweltbezogenen Risiken, um die gesetzlich festgelegten Anforderungen zu erfüllen.

Bei großen oder komplexen Erdbauprojekten kann es von Vorteil sein, wenn jedes Planungsteam für den Teil der Arbeiten, für die es verantwortlich ist, ein Risikoregister anlegt und pflegt.

Besondere Risiken bei Erdbauprojekten sind mit der Geotechnik verbunden, wie z. B.

- unbekannte oder unerwartete Baugrundbedingungen;
- die Auswirkungen auf benachbarte Bauwerke/Infrastruktur;
- die Witterungsempfindlichkeit der Böden während der Ausführung der Arbeiten (und das Klima im Allgemeinen);
- das Versagen von Dränagen und Entwässerungsanlagen;
- die Sicherheit von Dämmen und Böschungen; und

- die Umwelt (z. B. Gebäude in geschützten Gebieten, Verwendung gefährlicher Stoffe);
- die Auswirkung von natürlichen Gefährdungen (zum Beispiel Erdbeben, Überschwemmungen usw.);
- die Auswirkung von unvorhergesehenen Standortbedingungen (zum Beispiel geologische Stratigraphie und Verwerfungen);
- Vorhandensein verunreinigter Böden.

Bei Erdarbeiten ist es wahrscheinlich, dass die Risiken in einem geotechnischen Risikoregister erfasst werden, das es dem Planungsteam ermöglicht, die mit den Erdarbeiten innerhalb des Projekts verbundenen Risiken zu beseitigen oder auf ein Mindestmaß zu verringern. Alle Restrisiken sollten auf der Ebene des Gesamtprojekts behandelt werden.

4.7 Arten von Abläufen für die Erdarbeiten

Erdarbeiten umfassen einen großen Bereich von Tätigkeiten, die nicht von einer einzigen Reihe von Regeln abgedeckt werden können. Diese Norm enthält Anleitungen und Anforderungen für vier Gruppen von Erdarbeiten. Diese sind:

- Bau von Aufschüttungen (Abschnitt 6 dieser Norm und EN 16907-3, EN 16907-4 und EN 16907-5);
- Ausführung von Einschnitt- und Aushubarbeiten (Abschnitt 7 dieser Norm und EN 16907-3);
- hydraulisches Einbringen von nassgebaggertem Material (Abschnitt 8 dieser Norm und EN 16907-6);
- hydraulisches Einbringen von Böden und mineralischen Abfällen (Abschnitt 9 dieser Norm und EN 16907-7).

5 Spezielle Baugrund- und Materialuntersuchungen

5.1 Für die Planung von Erdarbeiten benötigte Angaben

Die Beschreibung, Identifizierung, Klassifizierung und Charakterisierung von Böden, Fels und sonstigen Einbaumaterialien sind ein wesentlicher Bestandteil der Planung von Erdarbeiten. Daraus ergeben sich die notwendigen Informationen, um bestimmen zu können, welcher Art das jeweilige Material ist, welches die beste Möglichkeit für die Entnahme aus den Baugruben oder Einschnitten ist, welcher Endzustand des Material nach der Verdichtung erreicht werden kann und welches die beste Möglichkeit zum Erreichen dieses Endzustands ist.

Die Beschreibung von Materialien für Erdarbeiten sollte Folgendes abdecken:

- geologische Bedingungen (einschließlich Seismizität) und die Art des Materials (Böden, Fels und sonstige Materialien);
- Vorhandensein von Schadstoffen;
- Vorhandensein organischer Bestandteile und Entstehung reaktiver Mineralien (wie beispielsweise Gips, lösliche Salze, Schwefel, Sulfid und insbesondere Sulfat);
- alle notwendigen Angaben zur Klassifizierung der Materialien (EN 16907-2);
- Angaben zum Ausgangszustand natürlicher Böden und von Fels;
- die Bestimmung der optimalen Verdichtungseigenschaften für Einbaumaterialien;
- falls notwendig, eine Schätzung der Steifigkeit, Festigkeit und Durchlässigkeit des verdichteten Materials;
- alle weiteren Angaben, die für das Projekt erforderlich sind.

Zusätzlich benötigt der Planer Informationen über die Grundwasserbedingungen und mögliche Zuflüsse beim Bodenaushub (siehe 5.2.3).

5.2 Koordination von Baugrunduntersuchungen

5.2.1 Allgemeines

Die Anforderungen nach EN 1997-2 müssen erfüllt werden. Baugrunduntersuchungen für ein Erdbauprojekt müssen angemessene und ausreichende Angaben für die Planung und die Durchführung der Erdbauarbeiten liefern, einschließlich der vorläufigen Böschungen und der vorläufigen Strukturen, die während der Bauarbeiten geschaffen werden. Das geotechnische Modell muss die Einflusszone des Bauwerks sowohl für die mechanische Analyse als auch für hydrologische und hydrogeologische Analysen abdecken. Diese Europäische Norm berücksichtigt ausschließlich die Baugrundeigenschaften, die für die Ausführung der Erdarbeiten von Bedeutung sind.

Die Phasen einer geotechnischen Untersuchung sollten eine Vorstudie, eine Voruntersuchung zur Beschreibung des Baugrunds allgemein, und sofern gefordert, daran anschließende Phasen der Hauptuntersuchung umfassen, die ausführliche Angaben für spezielle Elemente der Bemessung liefern.

Sofern möglich, sollte die Vorstudie für ein Erdbauprojekt anstreben, Informationen aus früheren Projekten und veröffentlichten Daten über die Erdbauleistungsfähigkeit der Einbaumaterialien und mögliche nachteilige Einflüsse der geologischen und hydrogeologischen Bedingungen auf die Durchführung der Erdbauarbeiten zu erhalten.

Baugrunduntersuchungen schließen auch die Erkennung und Charakterisierung jeglicher Verfüllungen und ehemaliger Mülldeponien, früherer Tagebaugebiete oder verunreinigter Böden ein, abhängig von ihrer Art und ihrem Umfang.

Wenn während der Erkundung der Verdacht erwächst, dass eine Verunreinigung aufgrund von vom Menschen verursachten Änderungen oder natürlichen Materialanhäufungen vorliegt, müssen die umweltrelevanten Parameter ermittelt werden.

5.2.2 Baugrunduntersuchungen für die geotechnische Bemessung

Mit Erdarbeiten werden zwei Hauptarten von Erdbauwerken geschaffen: „Einschnitte“ und „Aufschüttungen“. Diese Bauwerke sind nach den Regeln von EN 1997-1 zu bemessen, wobei die Standsicherheit, Verformungen und die Dauerhaftigkeit jedes Bauwerks berücksichtigt werden.

In EN 1997-2 wird die Notwendigkeit erkannt, die Untersuchungen so zu planen, dass ausreichend Angaben für die verschiedenen Planungsphasen zur Verfügung stehen. Der geotechnische Planer sollte in allen Phasen der Untersuchung hinzugezogen werden und einen Beitrag dazu leisten. Bei der Planung einer Phase der Baugrunduntersuchung ist es wichtig, die Bedürfnisse aller Verantwortlichen zu berücksichtigen, die die erlangten Daten in einer späteren Planungsphase nutzen.

Geotechnische Messungen können notwendig sein, um die Standsicherheit zu überwachen, die Annahmen für die Berechnung bezüglich der Baugrundstandsicherheit zu prüfen, das Verhalten von Bauwerken zu beobachten sowie zur Beweissicherung für benachbarte Bauwerke.

Es sollte beachtet werden, dass bei jeder Baugrunduntersuchung, wie sorgfältig sie auch durchgeführt sein mag, nur ein sehr geringer Anteil des Baugrunds untersucht wird. Es ist wichtig, dass die im Verlaufe der Aushubarbeiten erkannten Bodenbedingungen überprüft werden, um zu bestätigen, dass sie mit dem geotechnischen Modell übereinstimmen, das die Grundlage für die Bemessung des Erdbauwerks bildet. Es könnte notwendig sein, weitere Untersuchungen durchzuführen, mit denen das Ausmaß der abweichenden Bedingungen ermittelt werden kann.

5.2.3 Spezielle Baugrunduntersuchungen für Erdarbeiten

Für die Planung von Erdarbeiten sind Angaben über die Art, den Zustand, die Geometrie und das Volumen von Böden, Fels und sonstigen Materialien erforderlich, die ausgehoben, nassgebaggert, transportiert, behandelt, in Halden gelagert, geschichtet und verdichtet werden. Ein Teil dieser Angaben wird gemeinsam bei der geotechnischen Bemessung des endgültigen Bauwerks und der Hauptbauphasen genutzt. Die Untersuchungen müssen alle Bereiche, aus denen Materialien entnommen werden können, sowie den Ort von Endlagern abdecken.

Die Art der Materialien wird durch eine geologische Analyse und durch Prüfung von Proben ermittelt, die aus Bohrungen, Schürfen oder Lagerhalden entnommen werden.

Der Zustand der Materialien wird anhand von Beobachtungen des Baugrunds und den in 5.3 beschriebenen Messungen von Boden- und Felseigenschaften in-situ oder im Labor bewertet.

Die Geometrie und das Volumen natürlicher Baugrundsichten beruhen auf einer geologischen Analyse und Bohrungen sowie weiteren in-situ-Versuchen einschließlich geophysikalischer Untersuchungen.

Für den Bau von Erddämmen werden die Verdichtungseigenschaften von Böden mittels Verdichtungs- und Verformungsversuchen im Labor ermittelt. Eine angemessene Bodenmenge sollte entnommen werden, damit Prüfungen des Bodens bei einer Reihe von Wassergehalten möglich sind. Das ermöglicht die Bewertung der akzeptablen Bandbreite des Wassergehalts des Materials, die für eine wirksame Verdichtung erforderlich ist. Diese Anforderung an die Probenahme begünstigt die Schürferkundung, um die Gewinnung großer Mengen spezifischer Schichten aus mehreren Proben mit gemischtem Schüttgut zu ermöglichen. Anschließend dürfen spezielle Untersuchungen für eine geeignete Behandlung des Bodenmaterials durchgeführt werden, das nicht in dieser akzeptablen Bandbreite des Wassergehalts liegt. Wenn das Material aufgrund der Korngröße oder Größe einzelner Blöcke nicht im Labor geprüft werden kann, können Verdichtungsprüfungen im Großversuch in-situ durchgeführt werden (siehe 6.1).

Für den Aushub werden Angaben zur Festigkeit von Boden und Fels benötigt, was die Auswahl verschiedener Erdaushubmaschinen beeinflusst, sowie Angaben über die Art und das Trennflächengefüge des Felsens, wodurch die Größe der Blöcke gesteuert wird, die durch den Abtragungsprozess entstehen, sowie Angaben zur Verwitterung und Entwicklung dieser Blöcke mit der Zeit. Derartige Angaben können durch die geotechnische Untersuchung (einschließlich der Überprüfung von Felsexpositionen) und Analyse in Kombination mit geophysikalischen Untersuchungen gewonnen werden. Sofern maßgebend, sind die Steifigkeit und Veränderlichkeit des Baugrunds mittels Laborversuchen oder Geophysik zu bewerten.

Für Nassbaggerungen muss die geotechnische Untersuchung Entnahmestellen bzw. Landgewinnungsfelder abdecken. Da bei einer Nassbaggerung oftmals große Flächen betroffen sind, werden bei den geotechnischen Untersuchungen oft auch geophysikalische Verfahren einbezogen.

Die Lage und der Abstand zwischen den Untersuchungspunkten und der Untersuchungstiefe muss die Richtwerte in EN 1997-2 berücksichtigen. Der Planer der Erdarbeiten darf diese Anforderungen ggf. an die besonderen Anforderungen eines Erdbauprojekts anpassen. Die Tiefe der Untersuchungen muss sicherstellen, dass alle Schichten und Bodenbedingungen untersucht werden, die die Erdarbeiten beeinflussen.

Die Untersuchungen hinsichtlich Erdarbeiten und weiterer Bauwerke sollten koordiniert werden, um die für die verschiedenen Elemente des Projekts erforderlichen Informationen zu erhalten.

Untersuchungen sollten chemische Prüfungen der umweltbezogenen Parameter einschließen.

5.2.4 Geotechnischer Bericht

Der Ansatz für den geotechnischen Bericht muss den Regeln der Normenreihe EN 1997 folgen. Diese Regeln schließen die Erstellung von Berichten in den verschiedenen Phasen der Baugrunduntersuchung, Bemessung und des Bauprozesses ein.

Im geotechnischen Bericht sind die Böden, Fels und sonstigen Materialien und ihre möglichen Verwendungen mit den Schätzungen der entsprechenden Mengen sowie ihre mögliche Wechselwirkung mit der Umwelt anzugeben.

5.3 Anwendung von Klassifizierungssystemen

Die für Erdarbeiten verwendeten Materialien müssen klassifiziert werden:

- um die Planung und Festlegung von Bauverfahren und Qualitätskontrollverfahren zu ermöglichen;
- um Materialanforderungen für Erdbauwerke sicherzustellen, mit denen die geforderten Bemessungsanforderungen hinsichtlich Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit erreicht werden.

Die Hauptziele der Klassifizierung von Erdarbeiten sind:

- 1) Materialien in Klassen einzuordnen, welche ähnliche Eigenschaften und ein ähnliches Verhalten aufweisen; und
- 2) eine klare Kommunikation zu ermöglichen, indem Böden, Fels und sonstige Materialien in Übereinstimmung mit den Standard-Klassifikationssystemen beschrieben werden.

Die Klassifizierungen für Erdarbeiten sollten die maßgebenden Eigenschaften der Böden und des Felsens hinsichtlich Lösen, Fördern, Einbauen, Behandeln und Verdichten abdecken.

EN 16907-2 enthält Regeln zur Beschreibung und Klassifizierung von Böden und Fels sowie sonstigen Materialien, die für Erdarbeiten verwendet werden.

EN 16907-2 legt drei Stufen der Klassifizierung fest:

- Beschreibung auf der Grundlage von Beobachtungen: daraus ergeben sich Angaben zu Materialarten, ihrer Geometrie und Lage in der Baugrundmasse, ihrer Veränderlichkeit, Bruchzustand usw.;
- Klassifizierung durch Parameter „intrinsischer Eigenschaften“, wobei es sich um Materialeigenschaften handelt, die nicht leicht verändert werden können und die Eigenschaften sind, die von den Zustandsbedingungen während des Baus unabhängig sind, z. B. Korngrößenverteilung oder Plastizität. Es werden Laborversuche durchgeführt, um die Materialien in Gruppen mit ähnlichen Eigenschaften einzuordnen, z. B. Verhalten in einem Erdbauwerk nach der Verdichtung. Die technischen Anforderungen von Materialgruppen für Erdbauprojekte werden üblicherweise auf der Grundlage der intrinsischen Eigenschaften festgelegt;
- Klassifizierung auf der Grundlage von Parametern der „Zustandseigenschaften“, die ohne weiteres durch Abläufe für die Erdarbeiten verändert werden, z. B. Wassergehalt, Dichte, Kohäsion, Festigkeit: für eine Beschreibung der Abbaubarkeit von Materialien zur Ausführung der Erdarbeiten. Die entsprechenden Klassen dürfen mit speziellen Ausführungsprozessen verbunden werden, z. B. Lösen, Fördern, Behandeln, Einbauen und Verdichten, oder mit ihrer Verwendung in bestimmten Zonen innerhalb eines Erdbauwerks (z. B. allgemeines Einbaumaterial, Planumsschicht).

Wie in Abschnitt 6 angegeben, beruht die Planung von Erdarbeiten entweder auf Erfahrungen oder auf Vorabprüfungen im Großversuch.

Erfahrungen können auf zwei Arten angewendet werden:

- bei einfachen Arbeiten darf die Identifizierung der Art des Baugrunds als ausreichend betrachtet werden, um bekannte Erdbauverfahren anzuwenden;
- bei komplexeren Arbeiten sind Prüfungen und die Anwendung eines umfangreicheren Klassifizierungssystems notwendig, um das beste Bauverfahren auszuwählen.

Vorab-Großversuche werden zur Bewertung von Materialien mit unbekanntem Verhalten oder bei der Anwendung neuer Baugeräte oder Bauabläufe verwendet. Die Versuche dürfen sich auf die Art der Baugrundmasse und die Reaktion des Einbaumaterials auf die Verdichtung konzentrieren, anstatt sich vollständig auf vorhandene Klassifizierungssysteme zu berufen. Eine Liste häufig verwendeter Prüfnormen zur Unterstützung der Identifizierung und Klassifizierung von Einbaumaterialien ist in EN 16907-2 enthalten.

6 Planung von Erdarbeiten für Aufschüttungen

6.1 Einleitung

In der Planung der Erdarbeiten werden die Ausführungsverfahren festgelegt (z. B. Strategie für den Aushub, Transport und die Verwendung von ausgehobenem Boden oder Nebenprodukten, die Ausrüstungen für den Aushub, Transport, die Aufteilung in Schichten und Verdichtung, Anpassung des Prozesses an jedes Einbaumaterial, Qualitätskontrolle), die geeignet sind, um die Anforderungen (oder Annahmen) an das Erdbauwerk zu erfüllen.

Da Erdarbeiten häufig über die Dichte der verdichteten Einbaumaterialien gesteuert werden, ist es erforderlich, die Dichte mit den mechanischen Eigenschaften der zu errichtenden Aufschüttung hinsichtlich Standfestigkeit (Scherfestigkeit), Verformungen (Verformbarkeit) und Wasserdichtheit (Durchlässigkeit) zu korrelieren. Bei der Festlegung der Anforderungen an die Dichte sollten die Beständigkeit und die Langzeit-Standfestigkeit der fertigen Aufschüttung aus Einbaumaterial ausdrücklich berücksichtigt werden.

Die Planung schließt somit gewöhnlich Folgendes ein:

- Bewertung der Art und der Materialeigenschaften der verfügbaren Böden, des Felsens, der industriellen Nebenprodukte oder wiederaufbereiteten Materialien;
- Bewertung der geforderten Eigenschaften der verdichteten Einbaumaterialien, und wie diese erreicht werden können;
- Festlegung des Bauprozesses unter Berücksichtigung der Art der Arbeiten (Aushub, Transport, Behandlung, Aufteilung in Schichten, Verdichtung), der zur Verfügung stehenden Baugeräte, der Art und des Anfangszustands des Bodens/Felsens, des Klimas und des gewünschten Endzustands;
- Optimierung des Erdbauprojekts hinsichtlich der Anwendung von Baugeräten, der Einschränkung des Transports, des Schutzes der Umwelt, einer nachhaltigen Entwicklung, der Kosten, der Dauer der Arbeiten;
- Festlegung der Qualitätssicherung der Arbeiten (Prüfungs- und Überwachungsverfahren sowie Häufigkeit von Prüfungen während des Baus) (EN 16907-5).

Bei Aufschüttungen hängt das Verdichtungsverfahren (Anzahl und Dicke der Schichten, Verdichtungsgerät und Energie) vom verfügbaren Einbaumaterial, den klimatischen Bedingungen sowie den geforderten Endigenschaften der fertigen Aufschüttung ab. Es kann eine Verbesserung des Einbaumaterials (Belüftung, Befeuchtung, Vermischung mit weiteren Materialien, Einsatz von Bindemitteln) erforderlich sein. Die Möglichkeit, die erforderlichen endgültigen Eigenschaften der Aufschüttung zu erreichen, kann von Verfahren zur Untergrundverbesserung abhängen, die nicht Gegenstand dieser Europäischen Norm sind.

Das für den vorhandenen Baugrund optimale Bauverfahren für einen bestimmten Standort lässt sich nur schwer anhand von Laborversuchen finden. Daher sollten Probeverdichtungen im großen Maßstab auf der Baustelle als Referenzinstrument für die Beurteilung der Leistungsfähigkeit der möglichen Verfahren durchgeführt werden. Jahrelange Erfahrungen aus projektbezogenen Probeverdichtungen wurden zu „Klassifizierungen“ (EN 16907-2) zusammengeführt, die den Planern von Erdbauwerken bei der Auswahl des Bauverfahrens helfen. Die Anwendung derartiger Klassifizierungen gilt als eine Art der Anwendung der vorliegenden Norm.

Erdarbeiten sind ein komplexer mechanischer Prozess, dessen Modellierung nicht alle Schwierigkeiten des Bauprozesses widerspiegeln kann. Daher sollte eine Mischung aus Laborversuchen und Großversuchen mit in-situ-Prüfverfahren verwendet werden (EN 16907-3 enthält weitere Einzelheiten über Großversuche). Für Felsschüttungen sind Laborversuche- und Probeverdichtungen sehr schwer durchführbar. Die Planung von Felsschüttungen beruht daher beinahe vollständig auf der Beurteilung des Ingenieurs und auf Erfahrungen mit dem jeweiligen Felsmaterial.

6.2 Vorgehen bei der Planung

6.2.1 Allgemeines

Aufschüttungen werden mit anerkannten Erdbauverfahren gebaut, um hinsichtlich Festigkeit, Verformbarkeit, Durchlässigkeit und Dauerhaftigkeit ein vorgeschriebenes Verhalten zu erreichen. Diese Bauverfahren umfassen folgendes:

- a) Vorbereitung der Gründungsebene zur Aufnahme der Aufschüttung (EN 16907-3);
- b) Ausbreiten von Einbaumaterial in Schichten und anschließende Verdichtung (EN 16907-3 und EN 16907-4);
- c) Einbringen von grobkörnigen Materialien wie z. B. Felsblöcken (EN 16907-3);
- d) hydraulisches Einbringen von Einbaumaterial (EN 16907-6 und EN 16907-7).

Die erforderlichen Eigenschaften der Aufschüttung werden durch die Bemessung des Erdbauwerks bestimmt. Die Planung der Erdarbeiten umfasst die Festlegung der angemessenen Verfahrensweisen, mit denen diese Eigenschaften und die Anforderungen an die fertiggestellte Aufschüttung erfüllt werden, und die Festlegung der entsprechenden technischen Spezifikation, die die Anforderungen festlegt, die während der Bauarbeiten zu erfüllen sind, einschließlich der Art und Weise der Überwachung und Qualitätskontrolle der Bauarbeiten. In den Fällen c) bis d) dürfen die Eigenschaften der fertigen Aufschüttung durch Unterteilung in Zonen erzielt werden (6.2.2), wobei an jede Zone unterschiedliche Anforderungen gestellt werden.

6.2.2 Aufschüttungen

6.2.2.1 Allgemeines

Der Querschnitt einer Aufschüttung kann entweder homogen sein oder bei Bedarf in verschiedene Zonen aufgeteilt werden. Für jede Zone sind dann ihre Geometrie, die zulässigen Materialklassen, Dichte und sonstige mechanische, physikalische und chemische Eigenschaften des verdichteten Materials festzulegen.

6.2.2.2 Aufschüttungen für die Infrastruktur

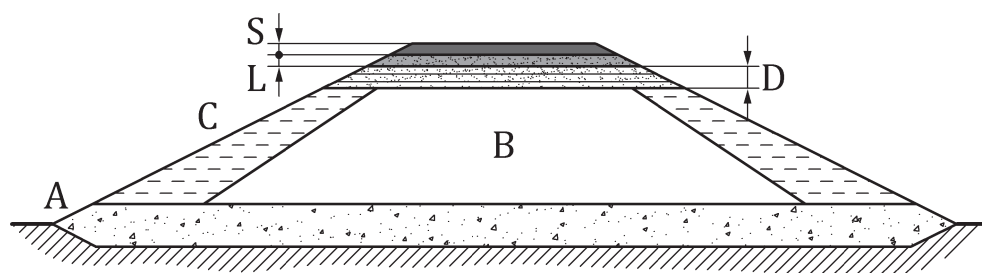
Der Querschnitt von Aufschüttungen für die Infrastruktur (Straßen, Bahnstrecken, Wasserwege, Hochwasserschutzanlagen, Deiche oder Dämme) kann in die in Bild 1 dargestellten Zonen unterteilt werden. Projektbezogen kann auch eine weitere Unterteilung/Zonierung der Aufschüttung notwendig werden:

- **Sohle (A):** Aufschüttungszone in direktem Kontakt mit dem vorhandenen Boden. Diese Zone darf in Schichten unterteilt werden, z. B. für Dränage, Arbeitsplattform, wasserdichte Schutzschicht. Sie darf

den Austausch von vorhandenem Baugrund bis zu einer bestimmten Tiefe oder eine Verbesserung von vorhandenem Boden durch Bindemittel oder den Einbau von Geokunststoffen einschließen;

- **Kern (B)**: Aufschüttungszone, die sich zwischen den Sohlenschichten und der Krone befindet (wo der Erddamm von ausreichender Höhe ist). Der Kern kann vor Wasser geschützt oder gedämmt werden, um die Verschmutzung der Umwelt zu begrenzen;
- **Schulter (Seitenzonen) (C)**: seitliche Zonen von Aufschüttungen. Diese Zonen können verschiedene Funktionen haben, z. B. steilere Böschungen ermöglichen, den Kern schützen, als Filter dienen, vor Erosion schützen;
- **Obere Lage (D)**: Bereich, der sich zwischen dem Kern und dem Oberbau (Fahrbahn, Schienengleis) befindet. Dieser Bereich darf aus verschiedenen Schichten bestehen, z. B. aus „oberen Schüttlagen“, einer „Planumsschicht“, einer „Übergangsschicht“ zur Trennung einer Felsschüttung von Bodenschichten, einer undurchlässigen Schicht oder einer anderen funktionalen Schicht. Die oberen Schichten sind nicht Bestandteil des Oberbaus.

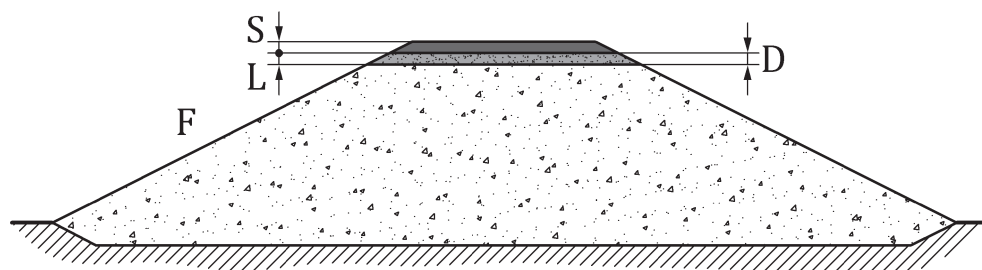
Die Einbaumaterialien in den Zonen A, B, und C dürfen gleich sein, sofern das Material die Anforderungen jeder Zone erfüllt (Bild 2, Beispiel für einen allgemeinen Fall).



Legende

- A Sohle
- B Kern
- C Schultern (Seitenzonen)
- D Obere Lage aus mehreren Schichten
- L Planumsschicht (Teil der oberen Lage)
- S Oberbau (Fahrbahn/Schienengleis) (nicht Bestandteil von Erdarbeiten)

Bild 1 — Zonen einer Aufschüttung für Infrastruktur: allgemeiner Fall



Legende

- D obere Lage aus einer einzelnen Schicht, hier auch Planumsschicht
- F Aufschüttung
- L Planumsschicht (Teil der oberen Lage)
- S Oberbau (Fahrbahn/Schienengleis) (nicht Bestandteil von Erdarbeiten)

Bild 2 — Zonen einer homogenen Aufschüttung für Infrastruktur (Beispiel)

Die Abmessungen der verschiedenen Zonen und deren Materialeigenschaften sind so zu wählen, dass die Anforderungen an das ganze Bauwerk erfüllt werden. Das endgültige Bauwerk bestimmt die Anforderungen an das endgültige Erdbauwerk hinsichtlich der Verformbarkeit, Standsicherheit, Tragfähigkeit, Durchlässigkeit und Dauerhaftigkeit. Die vorliegende Norm geht davon aus, dass die Funktionen jeder Zone unter Berücksichtigung der auf der Baustelle oder anderweitig lokal verfügbaren Einbaumaterialien erreicht werden.

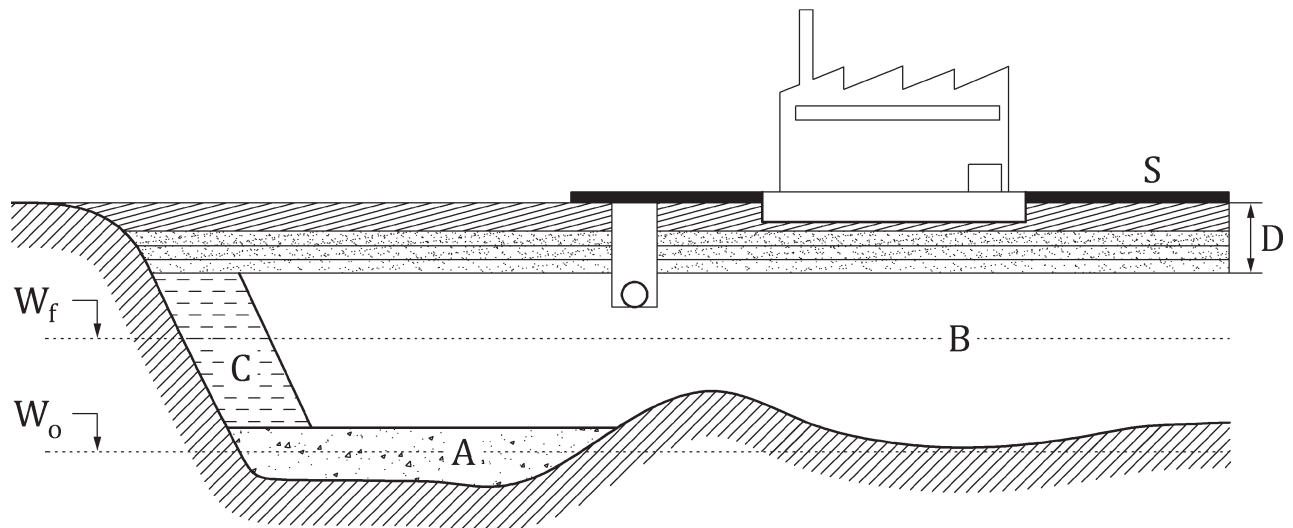
Bei der Planung der verschiedenen Zonen sind alle Aspekte zu berücksichtigen, die für das Projekt maßgebend sind, einschließlich:

- der möglichen Setzung im Untergrund und der Eigensetzung des Erdbauwerks nach dem Bau;
- Schutz witterungsempfindlicher Materialien;
- Einkapselung verunreinigter Materialien zur Verhinderung von Schadstoffaustrag;
- die Trennung von Materialien, die empfindlich gegenüber chemischen Eigenschaften einer anderen Schicht sind, z. B. Trennung der Kernschicht von der Untergrundsicht;
- die Auswirkung des Baustellenverkehrs (Belastung und Erschütterungen) auf den natürlichen Untergrund und die Eigenschaften des Einbaumaterials;
- die Auswirkung des Bauverfahrens auf die Geometrie der Kern- und Seitenzonen.

6.2.2.3 Verfüllung von Gruben und Senken

Die Verfüllung großer Gruben oder Senken darf in dieselben Zonen unterteilt werden wie bei Aufschüttungen für die Infrastruktur (ein Beispiel für die Verfüllung einer Grube ist in Bild 3 dargestellt). Zusätzlich zu den in 6.2.2.2 aufgeführten Vorkehrungen muss bei der Planung dieser Erdarbeiten ein möglicherweise schwankender Wasserspiegel berücksichtigt werden.

Der Planer des Erdbauwerks sollte berücksichtigen, dass, wenn eine Schüttung mit beträchtlicher Dicke über einer großen Fläche eingebracht wird, die Last aufgrund der Schüttung oftmals zu einer beträchtlichen Setzung führen kann, was sowohl die Setzung durch das Eigengewicht als auch die des darunter liegenden Bodens betrifft. Außerdem kann das Erdbauwerk einige Zeit nach dem Bau bei einer Überschwemmung mit Wasser absacken, wenn die Schüttung einen hohen Luftporengehalt aufweist (insbesondere wenn die Schüttung unterhalb des langfristigen Grundwasserspiegels eingebracht wurde). In Fällen von lockerem gleichmäßig gestuftem Sand muss bei einer Verfüllung eines Aushubs mit einem hohen Wasserspiegel die Gefahr einer Bodenverflüssigung ebenfalls berücksichtigt werden. Diese möglichen Ursachen für eine Bewegung des Baugrunds sollten bei der Bemessung von Erdarbeiten zur Verfüllung von Aushüben und natürlichen Absenkungen berücksichtigt werden. Der Planer sollte die geforderten Eigenschaften des Einbaumaterials sowohl hinsichtlich der geforderten Tragfähigkeit aller darüber liegenden Bauwerke als auch hinsichtlich einer Begrenzung von Bodenbewegungen in Bezug auf diese Bauwerke berücksichtigen. Daher kann es erforderlich sein, Anforderungen an die Verdichtung zu stellen, die über die Anforderungen hinausgehen, die üblicherweise an Einbaumaterial gestellt werden, das für eine Aufschüttung für Infrastruktur verwendet wird. In einigen Fällen kann es notwendig werden, die Arten des Einbaumaterials, das genutzt werden kann, einzuschränken, um die Bewegungen innerhalb des Erdbauwerks selbst zu begrenzen.



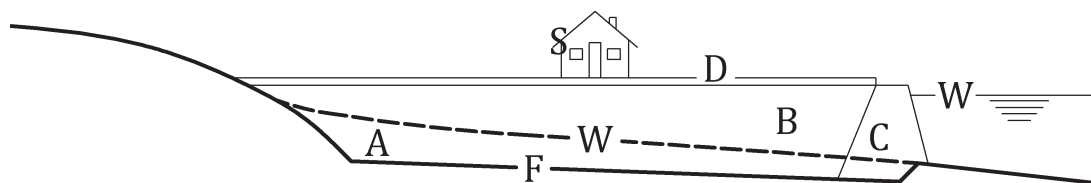
Legende

- A Sohle (in diesem Beispiel wird die Sohlenschicht verwendet, um zu ermöglichen, dass die Aufschüttung in überfluteten Bereichen des Aushubs eingebracht werden kann)
- B Kern
- C Schultern (Seitenzonen)
- D obere Zone
- S Oberbau
- W_0 Wasserspiegel zu Beginn der Arbeiten
- W_f Wasserspiegel am Ende der Arbeiten

Bild 3 — Beispiel von Aufschüttungszonen bei Gruben und Senken

6.2.2.4 Landgewinnung im Aufspülverfahren

Im Aufspülverfahren gewonnenes Land wird üblicherweise in Zonen innerhalb des Einbaukörpers unterteilt (in einer ähnlichen Weise wie in 6.2.2.2 und 6.2.2.3 beschrieben). Ein Beispiel, wie dies für die hydraulische Aufschüttung zur Landgewinnung erreicht werden kann, ist in Bild 4 dargestellt. Der Kern ist die Hauptzone derartiger Schüttungen. Die Sohle besteht aus dem natürlichen Meeres-, See- oder Flussboden, der bei Bedarf gereinigt wird, um weiche Ablagerungen zu entfernen. Seitliche Dammkonstruktionen oder Deiche werden häufig verwendet, um den Umfang der Verfüllung zu begrenzen, den Austritt hydraulischen Auffüllmaterials in die Umgebung zu verhindern und den Bau steilerer Böschungen zu ermöglichen. Die obere Lage kann mehrere Übergangsschichten als Grundlage für den Oberbau enthalten.



Legende

- A Sohle (weiche natürliche Böden werden durch Nassbaggerung entfernt und durch hydraulisches Auffüllmaterial ersetzt, um die Sohlenschicht zu errichten)
- B Kern (hydraulisches Auffüllmaterial)
- C Damm (Deich)
- D Obere Zone
- F Planum (Untergrenze der Nassbaggerung)
- N ursprüngliches Bodenniveau vor dem Baggern
- S Oberbau
- W Wasseroberfläche (See, Fluss, Meer)

Bild 4 — Beispiel von Zonen einer hydraulischen Auffüllung zur Landgewinnung

Das Bauprojekt legt das geforderte Verhalten des endgültigen Erdbauwerks fest. Die vorliegende Norm setzt voraus, dass es unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Einbaumaterialien geplant wurde. Bei der Ausführung hydraulischer Auffüllungen mit nassgebaggerten Materialien ist Folgendes zu berücksichtigen:

- feinkörnige Anteile, die ggf. nicht frei in das umgebende Wasser strömen dürfen;
- die Notwendigkeit, verunreinigte Materialien einzukapseln, um ein Auswaschen von Schadstoffen zu vermeiden;
- die Geometrie der ausgebaggerten und aufgeschütteten Bereiche.

6.2.2.5 Bauwerke und Gebäude auf Aufschüttungen

Die Planung der Erdarbeiten muss alle Aspekte einbeziehen, die sich auf die in oder auf der Aufschüttung zu errichtenden Bauwerke auswirken könnten, einschließlich:

- Gesamtsetzung und Setzungsunterschiede von Flachgründungen;
- negative Mantelreibung an Pfählen oder Schächten durch die Aufschüttung;
- horizontaler Verdichtungserddruck auf unmittelbar benachbarte Bauwerke (wie z. B. Brückenpfeiler und Stützwände);
- Setzungsunterschiede zwischen Pfahlkonstruktionen und tragenden Gründungselementen/Einrichtungen;
- Stabilität der Aufschüttung unter Einwirkung eines Erdbebens und Porenwasserüberdruck.

Es sollte auch das akzeptable Maß der Eigensetzung der Einbaumaterialaufschüttung während und nach dem Bau berücksichtigt werden (einschließlich der Gefahr von Sackungen bei einer in 6.2.2.3 beschriebenen Aufsättigung von Wasser). Bei Bereichen des Erdbauwerks, die unterhalb von Bereichen liegen, für die es genaue Grenzwerte für die Setzung gibt, muss der Planer Folgendes berücksichtigen: die Tiefe der Auffüllung, die zulässigen Einbaumaterialien, die bei diesen Einbaumaterialien aufzubringende Verdichtungsleistung und die geforderten Endeigenschaften des Einbaumaterials.

Die geforderten Eigenschaften des Einbaumaterials sollten hinsichtlich der Dichte und des Luftporengehalts der verdichteten Aufschüttung sowie der Steifigkeit der Aufschüttung unmittelbar nach der Verdichtung berücksichtigt werden. Die geforderte Steifigkeit von Verfüllungen für Bauwerke erfordert oftmals einen höheren Verdichtungsgrad als bei einer herkömmlichen Aufschüttung für die Infrastruktur, was die Einbringung der Aufschüttung bei einem relativ geringen Wassergehalt begünstigen könnte. Dennoch sollte der Planer der Erdarbeiten sicherstellen, dass der Wassergehalt beim Einbau und die geforderte Verdichtungsleistung ausreichen, so dass nach dem Bau keine unakzeptablen Veränderungen an der verdichteten Aufschüttung auftreten (6.3.3 und 6.3.4).

6.3 Wahl der Eigenschaften des Einbaumaterials und des Verdichtungsprozesses

6.3.1 Allgemeines

Die Planung der Einbaumaterialien für Erdarbeiten umfasst die Auswahl eines für das Erdbauwerk geeigneten Einbaumaterials sowie die Bestimmung der geeigneten Eigenschaften des Einbaumaterials und des Verdichtungsprozesses, um sicherzustellen, dass die Anforderungen an das fertig gestellte Erdbauwerk erfüllt werden können. 6.3 beschreibt die Probleme, die bei der Auswahl des Einbaumaterials für Erdarbeiten zu behandeln sind.

Aus wirtschaftlichen, umweltbezogenen und praktischen Gründen werden die Einbaumaterialien für Erdbauwerke üblicherweise aus dem in Einschnitten oder Entnahmegruben am oder in der Nähe des Projektstandorts verfügbaren Materialien gewonnen. Es kann erforderlich sein, dass ausgehobene Material zu behandeln oder zu modifizieren, um sicherzustellen, dass es für die Verwendung geeignet ist. Wenn für das Projekt Einbaumaterialien mit spezifischen Eigenschaften erforderlich sind, die nicht am Standort zur Verfügung stehen, dann müssen die Einbaumaterialien für das Projekt gesondert gewonnen werden. Bei all diesen Fällen muss der Planer der Erdarbeiten das Einbaumaterial bewerten, um festzustellen, ob die geforderten Eigenschaften der Aufschüttung in Abhängigkeit von einem geeigneten Schütt- und Verdichtungsprozess erzielt werden können.

Einbaumaterialien werden anfänglich auf der Grundlage einer Klassifizierung nach den intrinsischen Eigenschaften (in den meisten Fällen Kornverteilung und Plastizität, siehe 5.3) als potentiell für die Verwendung für Erdarbeiten geeignet bewertet. Die Festlegung des akzeptablen Zustands des Einbaumaterials erfolgt dann auf der Grundlage der Ergebnisse von Labor-Verdichtungsversuchen (außer bei Aufschüttungen, die für die Durchführung von Laborversuchen zu grobkörnig sind). Bei Bodenaufschüttungen beziehen sich die annehmbaren Materialeigenschaften gewöhnlich auf den Wassergehalt, die Scherfestigkeit oder den Verformungsmodul (oder auf einen Versuch für Erdarbeiten, der diese Eigenschaften abbildet). Für wiederaufbereitete Materialien und Nebenprodukte muss die Beschreibung den Anteil und das Verhalten von gefährlichen Stoffen enthalten, um die Umweltauswirkung der Anwendung des Materials zu bewerten.

Die gesamtheitliche Planung von Aufschüttungen für Erdarbeiten umfasst die Festlegung des Verfahrens, nach dem die verfügbaren natürlichen oder wiederaufbereiteten Materialien als Einbaumaterial derart genutzt werden können, dass die Anforderungen an das Erdbauwerk erfüllt werden. Der Erfolg dieser Planungen hängt von verschiedenen Punkten ab: einer Bewertung des Materials, der Festlegung der Anforderungen der Erdarbeiten, der Wahl der Bauausrüstungen, der Auswahl des Bauprozesses und der Qualitätskontrolle während des Baus.

Die Festlegung geeigneter Eigenschaften der Aufschüttung sowie des Bauprozesses sollte während der Planungsphase des Projektes erfolgen (d. h. vor Beginn der Erdbauarbeiten). Es liegt allerdings in der Natur von Erdbauprojekten, dass die Planung während des Baus angepasst werden muss, um auf die natürliche Schwankung der vorhandenen Materialien einzugehen. Folglich werden in EN 16907-3, EN 16907-4, EN 16907-5, EN 16907-6 und EN 16907-7 weitere Einzelheiten zu planungsrelevanten Aspekten bereitgestellt, da die Planung von Erdarbeiten sich im Verlauf der Ausführungsphase fortsetzt.

Der Planungsprozess kann als Gesamtsystem betrachtet werden, das die folgenden drei Arbeitsschritte umfasst (Verweisungen auf Teile der Normenreihe EN 16907 beziehen sich auf den jeweiligen Punkt und sind in Klammern angegeben):

Bemessung von Aufschüttungen, Schritt 1 – Bewertung und Beschreibung der verfügbaren Materialien (siehe 6.3.2); das beinhaltet:

- Klassifizierung von Boden- und Felsmaterial, das aus Einschnitten entnommen wird (siehe EN 16907-2);
- Ermittlung weiterer möglicher Quellen (Entnahmegruben, gelieferte Einbaumaterialien) sowie Klassifizierung der Materialien (siehe EN 16907-2).

Planung von Aufschüttungen, Phase 2 – Bewertung des Verhaltens von Aufschüttungen und Einschränkungen für die Verwendung jedes Einbaumaterials (siehe 6.3.3 bis 6.3.5); das beinhaltet:

- Festlegung der Kriterien, die erfüllt werden müssen, um die geforderte Leistung des Erdbauwerks zu erreichen;
- Klassifizierung der verfügbaren Boden-, Fels- und wiederaufbereiteten Materialien als Klassen von Einbaumaterial (siehe EN 16907-2 oder diese Norm, informative Anhänge zu bestehenden Praktiken B bis H);
- Bewertung des Verdichtungsverhaltens der Einbaumaterialien (siehe EN 16907-1, EN 16907-3, EN 16907-4, EN 16907-6 und EN 16907-7);
- Ermittlung der zulässigen Bandbreiten für Wassergehalt und Dichte, um die geforderten Leistungskriterien für das Erdbauwerk zu erfüllen;
- projektbezogene Festlegung der Anforderungen in den technischen Anforderungen von Erdarbeiten.

Planung von Aufschüttungen, Phase 3 – Auswahl geeigneter Bau- und Kontrollverfahren für die Durchführung der Erdbauarbeiten (siehe 6.3.6), im Einzelnen:

- Berücksichtigung der geeigneten Bauverfahren und Bauausrüstungen (siehe Teile EN 16907-3, EN 16907-4, EN 16907-6 und EN 16907-7);
- Ermittlung der geeigneten Art der Qualitätskontrolle/Qualitätssicherung (siehe EN 16907-5);
- Bestätigung der Eignung der Aufschüttung durch ein Probefeld oder eine Verfahrensprüfung und Klärung der Notwendigkeit.

Nationale Verfahren innerhalb von Europa unterteilen die Tätigkeiten nicht ausdrücklich in die drei zuvor zusammengefassten Bemessungsphasen, jedoch haben Überprüfungen dieser Verfahren ergeben, dass bei jedem der verschiedenen nationalen Verfahren jede dieser Phasen in gewisser Weise durchlaufen wird. Daher wird es zusammenfassend als sinnvoll erachtet, dass der Prozess der Planung von Erdarbeiten jede dieser Phasen zur Bemessung von Aufschüttungen behandeln sollte. Bei vielen Projekten wird für verschiedene Erdbauwerke oder Zonen eines Erdbauwerks eine eigene Bewertung durchgeführt.

6.3.2 Beschreibung von Materialien

Die Ermittlung und Beschreibung von Materialien, die zur Verwendung als Aufschüttung zur Verfügung stehen, ist die erste Stufe aller Verfahren zur Planung von Erdarbeiten (siehe 6.3.1). Die Ermittlung umfasst die Beschreibung der Art von Böden und Fels. Dabei sind Wassergehalt und einige der folgenden intrinsischen Eigenschaften eingeschlossen: Korngrößenverteilung, Gehalt an Carbonaten, Sulfaten, organischen Bestandteilen, Plastizität und Fließgrenze, Methylenblau-Wert für Böden, Los-Angeles-Index,

dynamische Zerteilung, Zerreißbarkeit, Abbaubarkeit, Brechbarkeit von Fels sowie spezielle Versuche für sonstige Materialien. Diese Angaben werden zur Klassifizierung der Materialien verwendet (EN 16907-2).

6.3.3 Kriterien für die Bewertung von verdichtetem Einbaumaterial

Die vom Erdbauwerk zu erfüllenden Anforderungen werden als ein Ergebnis der geotechnischen oder bautechnischen Bemessung festgelegt. Beispielsweise können sich die Anforderungen auf die Steifigkeit der fertigen Baugrundebeine oder auf die Begrenzungen der zulässigen Setzung unterhalb einer definierten belasteten Fläche beziehen.

Bei der Planung der Erdarbeiten sollten die Kriterien für Erdarbeiten festgelegt werden, die erfüllt werden müssen, um die Anforderungen an das Erdbauwerk (wie z. B. Steifigkeit) zu erfüllen und um Probleme während des Baus und danach zu vermeiden. Diese Kriterien schwanken in Abhängigkeit von den jeweiligen Baugrundbedingungen, verfügbaren Einbaumaterialien und dem Zweck der Aufschüttung, und können einige oder alle der folgenden Punkte einschließen:

- Kriterien in Bezug auf die fertige Aufschüttung:
 - Mindestwert des vertikalen Verformungsmoduls;
 - Mindestwert der Tragfähigkeit (basierend auf einem festgelegten Prüfverfahren);
 - Höchst- oder Mindestwert der Durchlässigkeit, sofern gefordert.
- Kriterien in Bezug auf die Bauphasen:
 - Befahrbarkeit (für eine einfache Ausführung der Arbeiten);
 - Anforderungen an die Verdichtungsqualität/das Arbeitsverfahren, zum Beispiel:
 - das Einbaumaterial darf durch die Erzeugung von übermäßigen Porenwasserdrücken während der Verdichtung aufgrund von Überverdichtung, die zu Matratzenbildung führt, nicht instabil werden, oder
 - Änderung nach der Verdichtung aufgrund von Austrocknung, die zur Abtrennung von Schichten oder Rissbildung führt.
 - Verarbeitbarkeit (z. B. Wassergehalt von Entnahmematerial im Vergleich zum Optimum für die Verdichtung).
- Kriterien in Bezug auf die Dauerhaftigkeit:
 - Langzeitstandfestigkeit der verdichteten Aufschüttung, insbesondere Beständigkeit gegen Änderungen des Wassergehaltes (begrenzte Sackung, Hebungen und Setzung);
 - Frostbeständigkeit;
 - Zersetzbarkeit.

Die vorgenannten Kriterien sind in Anforderungen in den technischen Spezifikationen umzusetzen, die an mögliche Einbaumaterialien und den möglichen Bauprozess gestellt werden (Verdichtungsverfahren und möglicherweise Behandlung der Materialien).

Meist wird die Verdichtbarkeit der möglichen Einbaumaterialien zuerst auf Grundlage genormter Labor-Verdichtungsversuche bewertet, sofern diese durchführbar sind (typische Ausnahmen sind Aufschüttungen aus Blöcken oder sehr grobkörnigen Materialien). Bei der Bewertung ist zu berücksichtigen, dass die

Ergebnisse von Labor-Verdichtungsversuchen nur einen Hinweis auf das Verhalten einer Aufschüttung unter einer standardisierten Verdichtungsleistung liefern. Es kann vorteilhaft sein, sowohl Proctorversuche als auch modifizierte Proctorversuche zur Ermittlung des Materialverhaltens bei Schwankungen der Verdichtungsleistung durchzuführen. Die mechanischen Eigenschaften und die Dauerhaftigkeit des verdichteten Einbaumaterials innerhalb des Erddamms sollten für einen bestimmten Verdichtungsprozess durch Probeverdichtungen (6.3.7) oder durch in-situ-Versuche der ersten Schichten des Erddamms überprüft werden (für Dichte-, Steifigkeits-, Verformbarkeits-, Festigkeits- oder Durchlässigkeitsmessungen). Das kann projektbezogen durchgeführt oder auf nationaler oder internationaler Ebene organisiert werden, damit auf Erfahrungen beruhende Regeln aufgestellt werden, die in der Planungsphase oder bei laufenden Arbeiten angewendet werden können.

Diese Versuche oder auf Erfahrungen beruhenden Regeln sind Grundlage zur Beschreibung des gewünschten Zustands des Einbaumaterials nach der Verdichtung anhand von Trockendichte oder Verdichtungsgrad, siehe 6.3.4 für Einzelheiten.

6.3.4 Verdichtungsverhalten von Einbaumaterialien

Die Bewertung der Verdichtbarkeit jedes verfügbaren Einbaumaterials erfolgt, wie in 6.3.1 beschrieben, im zweiten Arbeitsschritt der Planung von Aufschüttungen. Wo immer es möglich ist, ist das Verhalten des Einbaumaterials im Labor zu prüfen. Wenn das Material für Laborversuche zu grobkörnig ist, wird die Bewertung auf der Grundlage der Erfahrungen und der Ergebnisse von Probeverdichtungen vorgenommen (EN 16907-3). Die Labor-Verdichtungsversuche sollten am Einbaumaterial durchgeführt werden, um die unter standardisierter Verdichtungsleistung bei einem bestimmten Wassergehalt erreichbare Trockendichte zu ermitteln. Bodenproben werden über eine Bandbreite von Wassergehalten geprüft, um die maximale Trockendichte und den optimalen Wassergehalt für die aufgebrachte Verdichtungsleistung zu ermitteln. Für Einbaumaterialien werden am häufigsten zwei Prüfverfahren angewendet, der Proctorversuch und der modifizierte Proctorversuch. Beide unterscheiden sich hinsichtlich der aufgebrachten spezifischen Energie.

Die Wahl des Prüfverfahrens hängt von der Art und dem Zustand des Bodens sowie vom voraussichtlichen Grad der Verdichtungsleistung ab, die auf den Baugrund aufgebracht wird. Es darf auf nationaler oder regionaler oder auf Projektebene festgelegt werden.

In Bild 5 sind beispielhafte Ergebnisse von Proctor- und modifizierten Proctor-Versuchen an einem Boden (gleiche Bodenprobe in beiden Diagrammen) dargestellt. Die größere Verdichtungsleistung bei den Ergebnissen des modifizierten Proctorversuchs führt zu einem geringeren optimalen Wassergehalt und zu einer höheren maximalen Trockendichte. Eine Ausnahme ist dabei gleichförmig abgestufter Sand oder Feinkies, bei denen sich die Erhöhung der Verdichtungsleistung nur begrenzt auswirkt.

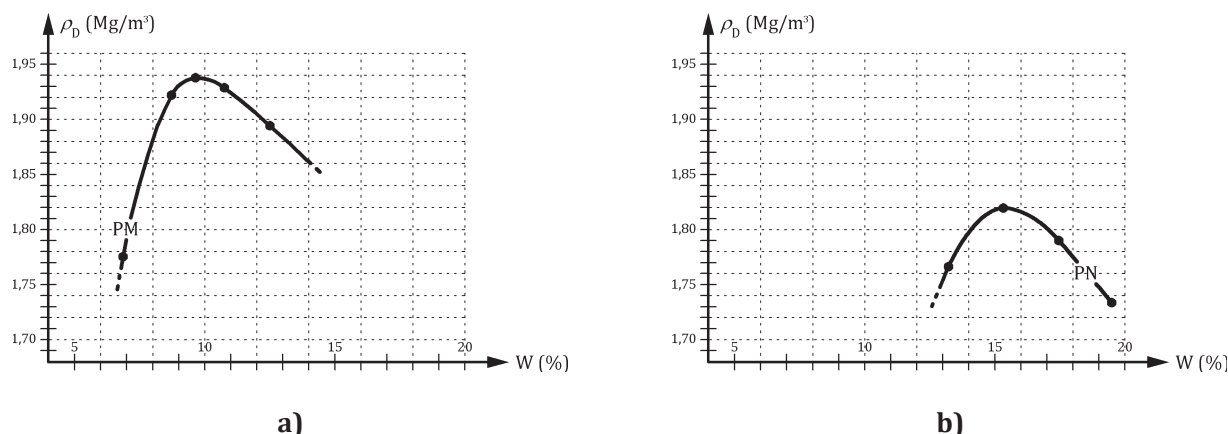


Bild 5 — Beispielkurven für die Prüfergebnisse eines (a) modifizierten Proctorversuchs (PM) und (b) Proctorversuchs (PN)

Wenn beide Versuche an einem speziellen Boden durchgeführt werden, sollte der Planer der Erdarbeiten die Ergebnisse der Laborversuche in einem gemeinsamen Diagramm darstellen, um die Bewertung des

geeigneten Wassergehaltbereichs zur Verdichtung der Aufschüttung und der durch Verdichtung erreichbaren Trockendichte zu unterstützen.

Der Zustand des Einbaumaterials sollte durch grafische Darstellung des Luftporengehalts oder der Sättigungsgradlinien für die Aufschüttung verdeutlicht werden. Dazu muss die Korndichte entweder durch einen Laborversuch oder auf der Grundlage einer zuverlässigen Schätzung für eine bekannte Materialart ermittelt werden.

Der Wassergehalt eines Bodens zum Zeitpunkt des Aushubs oder einer Schüttung zum Zeitpunkt der Einbringung unterscheidet sich oftmals vom optimalen Wassergehalt. Außerdem kann der Wassergehalt innerhalb einer Bodenschicht schwanken und sich zwischen den Untersuchungen und den Bauarbeiten jahreszeitlich bedingt ändern. Daher muss bei der Beschreibung der Verdichtbarkeit des Bodens eine Bewertung des zulässigen Wassergehaltbereiches und der entsprechenden Trockendichten sowie des mechanischen Verhaltens und der Dauerhaftigkeit einbezogen werden. Die akzeptable Bandbreite des Wassergehalts kann wie in Bild 6 dargestellt auf der Grundlage der unteren und oberen Grenzwassergehalte festgelegt werden.

Viele Einbaumaterialien, die erheblich unterhalb des optimalen Wassergehalts verdichtet wurden und einen hohen Luftporengehalt aufweisen, sind nach der Verdichtung anfällig für Volumenänderungen bei Wasserzutritt. Das wahrscheinliche Verhalten nach der Verdichtung hängt von verschiedenen Faktoren ab: Körnung des Einbaumaterials, Wassergehalt zum Zeitpunkt der Schüttung in Bezug zum optimalen Wassergehalt, Plastizität, Mineralogie, Auflast innerhalb des fertigen Erdbauwerks, usw. Die Faktoren, die für den jeweiligen Boden maßgebend sind, sollten ermittelt werden. Das Potenzial für Volumenänderungen nach der Verdichtung ist vom Planer zu bewerten.

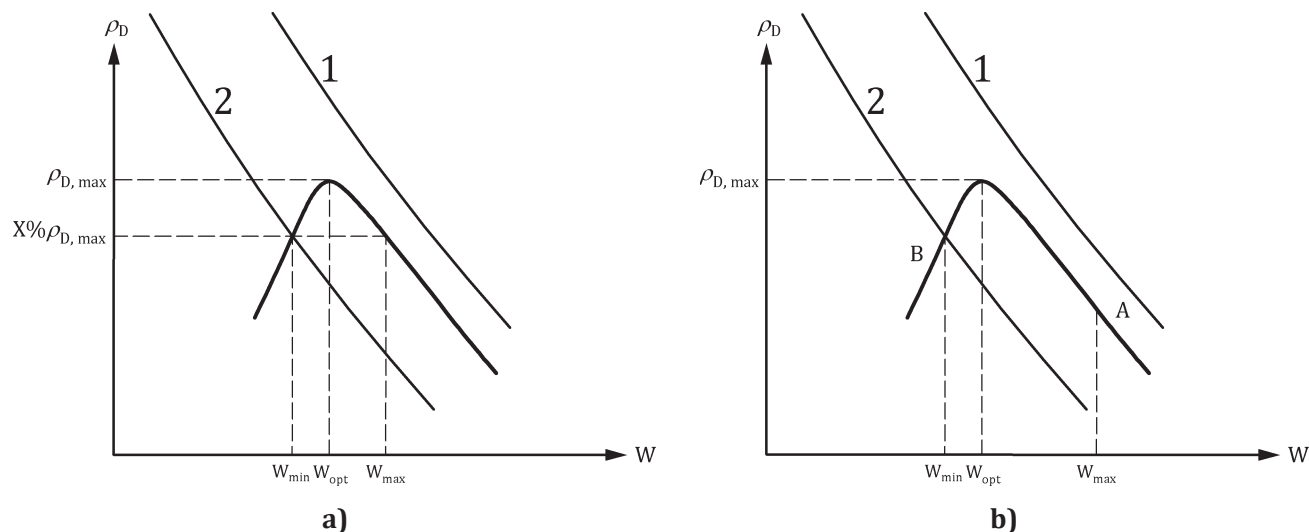
Für jedes Einbaumaterial sollte eine zulässige Bandbreite für den Wassergehalt, der zu einer zufriedenstellenden Verdichtung führt, festgelegt werden (Bild 6). Die Kriterien werden gewöhnlich in Bezug auf eine Mindesttrockendichte, oftmals in Kombination mit dem Höchstwert für den Luftporenanteil (oder Sättigungsgrad), sowie die unteren und oberen Grenzwerte für den Wassergehalt festgelegt, um akzeptable mechanische Eigenschaften zu erreichen und Veränderungen nach der Verdichtung auf ein Mindestmaß zu verringern. Die festgelegten Kriterien ermöglichen die Vorbereitung der Anforderungen an die Erdarbeiten (siehe Abschnitt 12).

Grobkörnige Einbaumaterialien sind verhältnismäßig leicht bezüglich ihres Wassergehaltes zu bewerten, siehe Bild 6a:

- oberer Grenzwert – üblicherweise festgelegt auf der Grundlage eines geforderten prozentualen Anteils der maximalen Trockendichte;
- unterer Grenzwert – es ist zu überprüfen, ob die Kriterien für die Dichte auf der Grundlage von Luftporen weiter eingeschränkt werden müssen, um langfristig das Risiko einer Sekundärsetzung zu vermeiden.

Bei feinkörnigen (bindigen) Einbaumaterialien (Bild 6b) sollte der Planer Folgendes bei der Bewertung des zulässigen Wassergehalts besonders berücksichtigen:

- oberer Grenzwert – der Planer muss die geforderte Festigkeit/Steifigkeit der verdichteten Schüttung berücksichtigen, und auch die Mindestfestigkeit der Schüttung, bei der der Bau zulässig ist und die Entstehung übermäßig hoher Porenwasserdrücke aufgrund der Verdichtung vermieden wird (z. B. wirkt sich eine weitere Verdichtung auf eine Schüttung bei Punkt A in Bild 6b nicht günstig aus);
- unterer Grenzwert – ist unter Berücksichtigung von Luftporen (oder des Sättigungsgrades) zu wählen, um das Potenzial für eine übermäßige Bewegung nach dem Bau auf ein Mindestmaß zu verringern (z. B. hat eine Schüttung bei Punkt B in Bild 6b ein höheres Luftporenverhältnis und es ist zusätzliche Verdichtungsarbeit erforderlich, um die Schüttungsdichte zum Erreichen einer stabilen Schüttung zu erhöhen).



Legende

1	Sättigungslinie (0 % Luftporen)	w_{opt}	optimaler Wassergehalt
2	Linie für (a %) Luftporen	w_{min}	unterer Grenzwert
w	Wassergehalt (%)	w_{max}	oberer Grenzwert
ρ_d	Trockendichte (Mg/m^3)		

Bild 6 — Beispiele zur Darstellung der Festlegung eines Bereiches von Wassergehaltswerten auf der Grundlage einer Verdichtungskurve für a) grobkörnige Böden und b) feinkörnige Böden

Wenn ein Einbaumaterial, das aufgrund seiner Verwendung in der Vergangenheit gut bekannt ist, in üblicher Weise verwendet wird, kann die Bewertung der Planung auf Laborversuchen aufbauen, die die Charakterisierung betreffen, sowie auf den Ergebnissen der Verdichtungsversuche. In diesem Fall kann die Planung auf der Grundlage bewährter nationaler Verfahren und Erfahrungen erfolgen, wobei möglichst empirische Zusammenhänge zwischen den Klassifikationseigenschaften des Bodens und den mechanischen Eigenschaften, wie Festigkeit oder Steifigkeit der verdichteten Schüttung, zu nutzen sind. Wenn die Schüttung jedoch in einer Art und Weise verwendet werden soll, die nicht zum gängigen Erfahrungsbereich gehört, sollte das Verhalten der Schüttung mittels Korrelationsversuchen im Labor geklärt werden (siehe 6.3.5).

Setzungen nach einer Überschwemmung sind eine wesentliche Gefährdung für Gebäude und sonstige Bauwerke, die auf hohen Schüttungen gegründet sind (6.2.2.5). Dieses Risiko ist sehr hoch, wenn die Schüttung unterhalb des potenziellen langfristigen Grundwasserspiegels eingebracht wurde (z. B. Verfüllung eines Steinbruchs, 6.2.2.3), kann jedoch auch in verschiedenen anderen Situationen auftreten (z. B. um eine gebrochene Wasserleitung herum). Wo Bauwerke beeinträchtigt sein könnten, sollten die Kriterien der Planung der Erdarbeiten für das Einbringen und die Verdichtung der Schüttung so festgelegt werden, dass eine Eigensetzung der Schüttung nach dem Bau vermieden wird. Dies sollte eine Anforderung einschließen, dass die Schüttung unterhalb der Fundamente bis zu einem niedrigen Luftporengehalt (zum Beispiel < 5 % Luftporengehalt für gut gestufte grobkörnige Schüttung) zu verdichten ist. Eine mögliche Option ist die Bodenverfestigung mittels Bindemitteln.

Spezielle Informationen darüber, wie diese Probleme bei gebräuchlichen Einbaumaterialarten behandelt werden, sowie ähnliche Beispiele auf der Grundlage von Sättigungslinien, sind in EN 16907-3 sowie in den Anhängen B bis H, die die nationalen Verfahrensweisen beschreiben, enthalten.

6.3.5 Korrelationsversuch zur Bewertung der Eigenschaften der Schüttung

Die durch den Verdichtungsversuch für das jeweilige Einbaumaterial erhaltenen Angaben können zu den mechanischen Eigenschaften der verdichteten Schüttung in Bezug gesetzt werden, indem mit jeder der

verdichteten Proben zusätzliche Laborversuche durchgeführt werden. Dies wird als „Korrelationsversuch“ bezeichnet. Mit diesem Ansatz kann der Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt der eingebrachten Schüttung und der Festigkeit/Steifigkeit oder Durchlässigkeit des verdichteten Materials bestimmt werden. Korrelationsversuche können erweitert werden, um die möglichen Änderungen der Festigkeit/Steifigkeit und des Volumens der Proben aus der verdichteten Aufschüttung infolge einer Erhöhung des Wassergehalts nach der Verdichtung zu bewerten, was mittels CBR-Prüfungen von gesättigtem Boden möglich ist.

Die Ergebnisse der verschiedenen durchgeführten Laborversuche sollten vom Planer der Erdarbeiten grafisch in einem einzelnen Diagramm oder einer Reihe von Diagrammen mit gemeinsamen Achsen (üblicherweise wird der Wassergehalt als X-Achse verwendet) dargestellt werden, um die Auswirkung von Änderungen der Eigenschaften der Schüttung zu überprüfen und um den geeigneten Bereich des Wassergehalts der Schüttung und die Trockendichte, bei denen die verdichtete Schüttung die für das fertige Erdbauwerk geforderten geotechnischen Eigenschaften aus der Bemessung erreicht, ermitteln zu können. Dieser Ansatz ermöglicht es dem Planer der Erdarbeiten auch festzustellen, ob das jeweilige Einbaumaterial für die erforderliche Anwendung geeignet ist. Dieser Prozess ergänzt die Laborbewertung des möglichen Einbaumaterials und ermöglicht die Erstellung der technischen Spezifikation der Erdarbeiten.

Für den Prozess der Korrelationsversuche ist es erforderlich, eine Reihe von Proben des Einbaumaterials aus der Baugrunduntersuchung erneut heranzuziehen, um sicherzustellen, dass für die Prüfung ausreichend Material vorhanden ist.

6.3.6 Zusammenhang zwischen dem Bauverfahren und der Planung der Aufschüttung

Die Erdbaumaschinen, die bei dem Projekt zum Lösen, zur Behandlung, zum Verteilen und Verdichten des Einbaumaterials verwendet werden, sollten so gewählt werden, dass unter Berücksichtigung der Art der einzubringenden Schüttung und der Baugrundbedingungen die Anforderungen an die Verdichtungen erfüllt werden können.

Die Eignung der Erdbaugeräte für die Verdichtung einer Aufschüttung sollte die bisherigen Erfahrungen widerspiegeln und kann mittels Probeverdichtungen bestätigt werden, bei denen die gewählten Boden- oder Felsmaterial und die gewählten Verdichtungsgeräte (siehe 6.3.7) zum Einsatz kommen. Diese Versuche sollten vor oder bei Beginn der Hauptarbeiten durchgeführt werden und können in die Arbeiten einbezogen werden, sofern sich das als akzeptabel erweist.

Während des Baus ist es gängige Praxis zu bestätigen, dass das Einbaumaterial und das beabsichtigte Bauverfahren angemessen sind. Das sollte durch eine Überprüfung der Ergebnisse von in-situ durchgeführten Prüfungen einer Aufschüttung erfolgen, die zu Beginn jeder maßgebenden Phase der Erdarbeiten eingebracht und verdichtet wurde (z. B. erstmalige Verwendung eines bestimmten Einbaumaterials oder Bauvorgangs). Wenn die erreichten Ergebnisse der in-situ-Prüfungen und das Planungsziel deutlich voneinander abweichen, sollte eine Bewertung durchgeführt werden, ob das Problem auf das Bauverfahren oder auf das Planungsziel zurückzuführen ist. In den meisten Fällen muss das Bauverfahren geändert werden, um die vorhandenen Materialien zu verwenden. In einigen wenigen Fällen muss die Planung der Erdarbeiten verändert werden, um den verfügbaren Materialien zu entsprechen.

6.3.7 Anwendung von Großversuchen für die Bewertung des Verdichtungsvorgangs für ein bestimmtes Einbaumaterial

Das geeignete Verdichtungsverfahren, das für jedes Einbaumaterial anzuwenden ist, sollte in der Planungsphase des Projektes gewählt werden. Großversuche sind in vielen Fällen hilfreich und sollten üblicherweise für die Prüfung von Einbaumaterialien mit unbekanntem Verhalten oder neuen Erdbaugeräten oder voraussichtlich verbesserten Verdichtungsverfahren verwendet werden.

Diese Prüfungen müssen die folgenden Elemente erfassen:

- die Eigenschaften des Einbaumaterials und ihres Ausgangszustands;

- alle Modifizierungen, die an diesem Material vor der Verdichtung vorgenommen wurden;
- die Schichtdicke;
- die zur Verdichtung eingesetzten Geräte (Prinzip, Masse, Geschwindigkeit, Schwingungen);
- Anzahl der Verdichtungsübergänge, die auf das Material wirken;
- die Ergebnisse (mechanische Eigenschaften der verdichteten Schüttungsschichten).

Jedes dieser Elemente ist aufzuzeichnen, um die Bewertung des verdichteten Materials (unter Anwendung der Kriterien aus 6.3.3) mit einem festgelegten Verdichtungsverfahren zu verbinden.

ANMERKUNG EN 16907-3 beschreibt ausführlich ein Beispiel für das zur Validierung eines Verdichtungsverfahrens angewendete Verfahren, einschließlich der notwendigen Angaben zum Material und den Modifizierungen, denen es unterzogen wurde, des Verfahrens zur Bildung einer Schicht, der Größe des Prüfbereichs, der Dicke der Schicht, der zur Verdichtung verwendeten Ausrüstung, der Art, wie die Verdichtung ausgeführt wurde, was geprüft wurde, der Kriterien, die zur Bewertung der Ergebnisse herangezogen wurden und des Inhalts des Berichts.

Der Vorgang zur ordnungsgemäßen Verdichtung des Einbaumaterials sollte so gewählt werden, dass die Ergebnisse des oben beschriebenen Großversuchs darin einfließen. Die zulässigen Abweichungen vom geprüften Material sollten ermittelt werden, damit die Arbeiten bei Abweichungen des Untergrunds oder weiterer für die Herstellung des Erddamms verwendeter Materialien gesteuert werden können.

Örtliche Erfahrungen dürfen zur Extrapolation der Prüfergebnisse oder sogar anstatt der Prüfungen herangezogen werden, falls die gleichen Böden oder das gleiche Felsmaterial oder sonstige Materialien bereits zuvor für die gleiche Art von Arbeiten unter vergleichbaren Bedingungen für die Erdarbeiten eingesetzt wurden.

6.3.8 Entwurf des Querschnitts der Aufschüttung

Der Entwurf des Querschnitts ist Teil des Erdbauwerk-Projektes, siehe 6.2.2 und Anhang A für Beispiele. Dabei sind die geforderten Eigenschaften des Erddamms und die verfügbaren Materialien zu berücksichtigen. Wie in 6.2.2.2 beschrieben, sollte darauf geachtet werden, wasserempfindliche Materialien zu schützen, damit das Auswaschen verunreinigter Materialien vermieden wird und um zu verhindern, dass reaktive Materialien miteinander in Berührung kommen.

6.4 Einzelheiten besonderer Bauteile, Materialien und Erdbauwerke

6.4.1 Einleitung

Zusätzlich zu den in dieser Europäischen Norm beschriebenen allgemeinen Planungs- und Bauanforderungen gelten für einige besondere Teile von Erdbauwerken, für die Verwendung von besonderen Materialien und für besondere Grenzbedingungen spezielle Anforderungen. Diese können gleichzeitig auftreten. Die häufigsten werden nachfolgend beschrieben.

6.4.2 Planumsschichten

Die vorgesehenen Funktionen einer Planumsschicht erfordern die Verwendung eines Einbaumaterials von geeigneter Qualität. Die Oberseite der Planumsschicht ist „der Unterbau“ oder das Planum.

Planumsschichten werden, sofern benötigt, für die Erfüllung zweier Zwecke eingebracht:

Während der Bauarbeiten (kurzfristige Zwecke)

- genaues Einebnen des Unterbaus, um die Ausführung des Oberbaus zu erleichtern;

- zur Verfügung stellen einer ausreichenden Steifigkeit oder Tragfähigkeit, trotz Wetterschwankungen, für eine ordnungsgemäße Ausführung der Verdichtung von Schichten oder Bauwerken darüber („Ambosseffekt“);
- Schutz des Untergrunds der Schüttung oder des Einschnitts vor Witterung;
- Sicherstellung guter Verkehrsbedingungen für die Erdbaugeräte, die zum Bau des Oberbaus benötigt werden;
- möglicherweise Unterstützung des Baustellenverkehrs für weitere Zwecke.

Bei einigen Arten von Planumsschichten ist möglicherweise die Festsetzung vorübergehender oder dauerhafter Verkehrseinschränkungen nötig.

Nach Ende der Bauarbeiten (langfristige Zwecke)

- Homogenisierung der Verformbarkeit der Schüttung oder Aushubsohle, wie durch die Konstruktion des Oberbaus festgelegt (Festlegung von charakteristischen Werten und/oder Mindestwerten);
- Sicherstellung der Mindeststeifigkeit, die mit der Zeit trotz Schwankungen der Feuchtigkeitsbedingungen darunter liegender wasserempfindlicher Materialien konstant bleibt, und mit ausreichender Genauigkeit für die Konstruktion des Oberbaus abgeschätzt werden kann;
- Verbesserung der Tragfähigkeit des Unterbaus zur Optimierung der Kosten für das System aus Deckschicht und Oberbau;
- Witterungsschutz für Einbaumaterialien, die empfindlich gegenüber Frost-Tauvorgängen oder Frosthörungen sind
- Dränage des fertig gestellten Bauwerks.

Abhängig von den Standortbedingungen (Bodenart, Klima, hydrogeologische Umgebung, Verkehr usw.) darf die Planumsschicht unterschiedlich ausgeführt werden. Sie kann:

- verringert werden oder entfallen, wenn die Materialien des Erddamms oder Einschnitts über die geforderten Eigenschaften verfügen;
- auf eine einzige Materialschicht begrenzt werden, die über die notwendigen Eigenschaften verfügt;
- aus überlagerten Schichten verschiedener Materialien bestehen, die verschiedene Funktionen haben, z. B. ein Geokunststoff, eine grobkörnige Materialschicht, eine Schicht zur feinkörnigen Anpassung, eine Kiesschicht, eine mit einem Bindemittel verbesserte Bodenschicht. Eine solche Kombination einzelner Schichten darf so bemessen werden, dass eine Planumsschicht mit angemessenen Eigenschaften entsteht.

6.4.3 Übergangsbereiche

6.4.3.1 Einleitung

Erddämme dürfen verschiedene Arten von Übergangsbereichen enthalten: längs verlaufende Übergänge für halb eingeschnittene/halb aufgeschüttete Bereiche, Übergänge zwischen Dämmen und Einschnitten, Übergänge vom Erddamm zu Bauwerken, Wechselwirkungen mit anderen Erdbauwerken, die die üblichen seitlichen Böschungen ersetzen, Wechselwirkungen mit Durchlässen, Dükern oder weiteren Konstruktionen, die den Erddamm durchqueren.

Für alle Übergangsbereiche ist eine spezielle Konstruktion erforderlich, die eine angemessene Änderung der Steifigkeit und Durchlässigkeit, das Sicherstellen von Abflüssen oder sonstige Anforderungen in Abhängigkeit von der Art der Infrastruktur möglich macht.

6.4.3.2 Halb aufgeschüttete/halb eingeschnittene Profile

Dieser Übergang liegt vor, wenn ein Querschnitt eine Aufschüttung und einen Einschnitt (siehe Anhang A für ein Beispiel und die entsprechende Terminologie) umfasst. Das Profil setzt sich längs der Infrastruktur fort und zeigt dabei grob den Schnittpunkt zwischen Aufschüttung und natürlichem Untergrund, bis ein Bereich mit vollständigem Einschnitt oder einer vollständigen Aufschüttung erreicht wird.

Die Bemessung dieses Erdbauwerks schließt die Beurteilung der Standsicherheit nach EN 1997-1 ein, sowie eine spezielle Gestaltung, durch die Vertiefungen zwischen beiden Profilarten entstehen. Die meisten typischen Konstruktionen sehen Stufen im natürlichen Baugrund vor (und sorgen somit für die Entwässerung) und weisen mehrere Zonen innerhalb des Erddammquerschnitts auf.

Am Übergang zwischen Einschnitt und Aufschüttung sollte für eine geeignete Entwässerung gesorgt werden.

6.4.3.3 Übergang zwischen Erddamm und Einschnitt

Übergänge von Erddämmen zu Einschnitten sind spezielle Erdbauwerke, die so bemessen werden sollten, dass plötzliche Änderungen der Steifigkeit und Frosthebungen von der Sohle des Einschnitts zur Oberseite des Erddamms hin vermieden werden. Sie müssen so glatt wie möglich gebaut sein, sowohl in Quer- als auch in Längsrichtung.

Übergänge, die vom Einschnitt zum Erddamm hin abfallen, müssen so konstruiert werden, dass das Eindringen von abfließendem Wasser in die Oberseite des Erddamms durch dessen obere Schichten aufgrund des direkten Kontakts mit der Sohle des Einschnitts vermieden wird, so dass Abflüsse durch die Konstruktion selbst, über Böschungen und angrenzende Bereiche geleitet werden. Daher sollten im Allgemeinen einige querverlaufende Gräben oder weitere spezielle Entwässerungskonstruktionen vorgesehen werden, es sei denn, die erwarteten Abflüsse sind zu klein.

6.4.3.4 Übergang vom Erddamm zu einem Bauwerk

Bei Übergängen zwischen Erdbauwerken und Bauwerken (z. B. Brücken) sollten geeignete Maßnahmen ergriffen werden, um sowohl den Setzungsunterschied zu verringern als auch um einen schrittweisen Übergang der Steifigkeit sicherzustellen. Ein Teil dieser Maßnahmen sind bei dem Entwurf des Erdbauwerks festzulegen.

Bei der Festlegung der Übergangsbereiche sollten folgende Aspekte berücksichtigt werden:

- die Art der Widerlager des Bauwerks (offen, geschlossen, Unterführung, Rahmen, Pfähle usw.);
- der Bauvorgang;
- die Höhe des Erddamms;
- die Steifigkeit und Festigkeit des Untergrunds;
- die Steifigkeit der Widerlager des Bauwerks (Beton, verstärkte Erde, Gabionen).

Folgende Aspekte sollten beachtet werden, unter Berücksichtigung der Endverwendung des Erdbauwerks:

- Verdichtungsarbeiten, hauptsächlich in der Nähe des Bauwerks und von offenen Widerlagern, sollten besonders sorgfältig ausgeführt werden;
- ausgewähltes verdichtbares Verfüllmaterial wie gut gestufter Sand und Kies oder Schotter sollte verwendet werden;

- bei feinkörnigen Böden sollte eine Behandlung mit Bindemitteln in Betracht gezogen werden, um die Steifigkeit zu verbessern (siehe EN 16907-4);
- tiefe Bodenvermörtelung kann alternativ angewendet werden, um die Steifigkeit der Übergangszone zu erhöhen;
- Schleppplatten können ebenfalls konstruiert werden;
- hinter dem Bauwerk muss eine Entwässerungsschicht vorgesehen werden;
- Geogitter können zur Verringerung von Setzungsunterschieden verwendet werden und in einigen Fällen können sie zur Verringerung des seitlichen Erddrucks verwendet werden;
- Leichtbaumaterial (Flugasche, Blähton, EPS-Blöcke usw.) darf zur Verringerung der Setzung und des seitlichen Erddrucks verwendet werden.

6.4.3.5 Spezielle seitliche Übergänge oder Konstruktionen

Wenn die bestehende Schüttung erweitert oder erhöht werden soll (transversal), sollte dies mit Stufen oder anderen entsprechenden Maßnahmen vorbereitet werden, um eine geeignete Verbindung mit der neuen Schüttung zu erreichen. Diese Vorgänge müssen im Erdbauprojekt angegeben werden.

Für spezielle Zwecke, wie z. B. zum Schutz vor Überschwemmung und Erosion, Errichtung steilerer Böschungen, dürfen eine oder beide seitlichen Zonen einer Schüttung durch spezielle Konstruktionen ersetzt werden. Diese Zonen sind Teil des Erdbauwerk-Projekts. Es ist möglich, dass die Ausführung der Erdarbeiten dadurch nachteilig beeinflusst wird.

6.4.3.6 Wechselwirkung mit Konstruktionen, die durch den Erddamm verlaufen

Als erster Ansatz sollte das Problem schwerpunktmäßig ähnlich wie beim Übergang von einer Aufschüttung zu einem Bauwerk (siehe 6.4.3.4) behandelt werden, d. h. mittels einer speziellen Gestaltung, von der Oberseite und den Seiten der Konstruktion:

- senkrecht: von der Oberseite der unterquerenden Konstruktion bis zum Oberbau;
- waagrecht: von den Rändern der unterquerenden Konstruktion bis zu beiden Seiten;

In Abhängigkeit von den Abmessungen und der Tiefe der unterquerenden Konstruktion unter dem Oberbau sowie den Änderungen der Steifigkeit, die mit der unterquerenden Konstruktion verbunden sind, können verschiedene Ansätze angewendet werden. Für gleiche Abmessungen einer unterquerenden Konstruktion gilt: je tiefer die unterquerende Konstruktion verläuft, desto geringer ist ihr Einfluss auf den Oberbau. Die folgende Unterscheidung kann vorgenommen werden:

- tiefe unterquerende Konstruktionen: Wenn der Übergang hinsichtlich der Steifigkeit mittels einer oder verschiedener Schicht/en zu homogenen Lagerbedingungen für den darüber gelegenen Oberbau führt;
- flache unterquerende Konstruktionen: wenn durch Änderungen der Steifigkeit keine homogenen Lagerbedingungen für den darüber gelegenen Oberbau erreicht werden können.

6.4.4 Aufschüttungen in Hanglage

Diese Querschnittsart liegt vor, wenn der Querschnitt des Erdbauwerks aus einer Aufschüttung besteht, der auf einem Hang direkt auf dem natürlichen Untergrund gegründet ist.

Die Bemessung dieses Erdbauwerks schließt die Beurteilung der Standsicherheit nach EN 1997-1 ein, sowie eine spezielle Gestaltung, durch welche die Vertiefung der Aufschüttung im Baugrund entsteht. Die meisten typischen Konstruktionen sehen Stufen im Hang (natürlichen Baugrund) vor, sorgen für die Entwässerung

und legen die Unterteilung des Erddammquerschnitts in Zonen fest. Die Entwässerung des Hangs über der Aufschüttung und möglicherweise der Austausch des Bodens durch körniges Material unter dem Erddammfuß sind von größter Bedeutung (siehe Bild 10).

6.4.5 Besondere Materialien

Für die Bemessung von Aufschüttungen, die aus besonderem Material errichtet werden, sind spezielle Vorschriften erforderlich, die über die gebräuchlichen, üblicherweise gültigen Festlegungen hinausgehen.

Der erste Schritt besteht darin, dass die maßgebenden Langzeiteigenschaften dieser Materialien und deren Einfluss auf das vorhersagbare Verhalten des Erdbauwerks bekannt sein müssen. Bei diesen Materialien kann es sich um natürliche Böden, Nebenprodukte oder um Reststoffe aus Industrie- oder Bergbauprozessen handeln, aber auch um künstlich hergestellte Materialien. Aus dieser Sicht können einige der in dieser Norm enthaltenen allgemeinen Regeln und Grundsätze auf andere Weise oder ggf. gar nicht angewendet werden. Üblicherweise sollten bezüglich Gesundheit, Umwelt und anderer Bereiche spezielle Regeln berücksichtigt werden.

Die allgemeinen Rahmenbedingungen für die speziellen Materialien zum Bau von Erdbauwerken müssen die folgenden allgemeinen Aspekte berücksichtigen:

- Gesundheit und Sicherheit während des Baus;
- Umweltprobleme;
- Tragfähigkeit und Langzeitverhalten je nach Zweck des Erdbauwerks;
- Bebaubarkeit.

Dieser Abschnitt enthält ausschließlich Angaben zu natürlichen Böden und Felsmaterialien, die bei Verwendung für Erdbauwerke einer speziellen Bemessung bedürfen, es werden aber keine Informationen zu jedem speziellen Reststoff, Nebenprodukt oder künstlich hergestelltem Material gegeben.

Die Hauptarten natürlicher Böden und Fels, für die bei Verwendung für Erdarbeiten besondere Vorgaben erforderlich sind, sind:

- Kreide (siehe EN 16907-3:2018, Anhang B, B.6);
- aride Böden (siehe EN 16907-3:2018, Anhang B, B.7);
- tropische Verwitterungsböden (EN 16907-3:2018, Anhang B, B.8);
- Böden, die lösliche Salze enthalten (siehe EN 16907-3:2018, Anhang B, B.9);
- aktive Tone (siehe EN 16907-3:2018, Anhang B, B.10);
- Dauerfrostdböden (siehe EN 16907-3:2018, Anhang B, B.11).

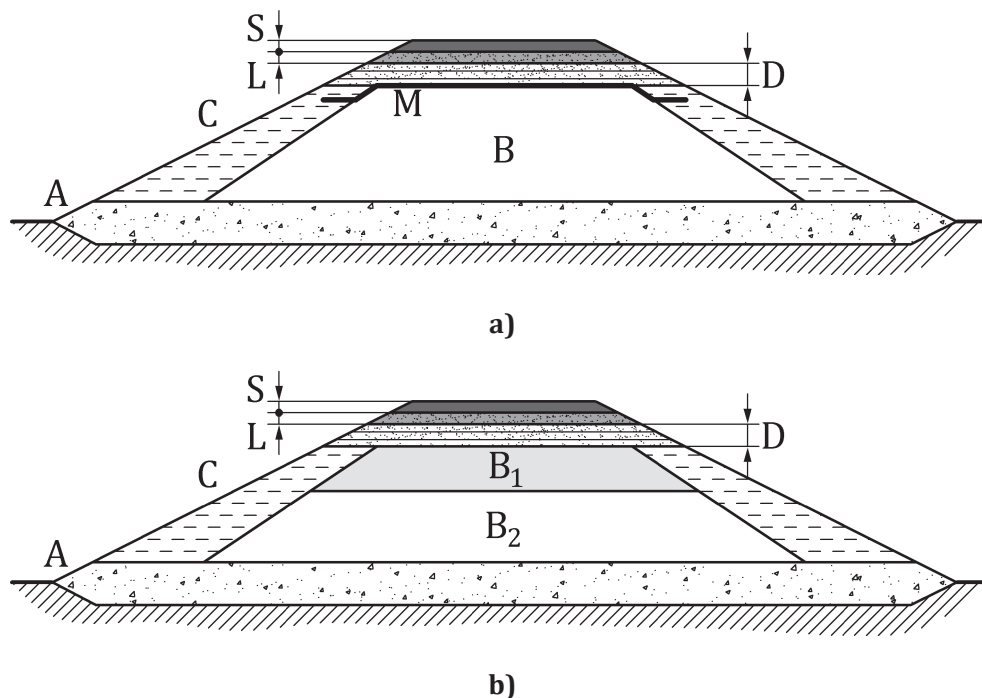
Im Allgemeinen sind das:

- Materialien mit besonderen Bestandteilen;
- sehr trockene oder sehr feuchte Materialien;
- sehr tonhaltige Materialien;
- gleichmäßig gestufte Einbaumaterialien;

— veränderliche oder brüchige (spröde) Materialien.

Neben Versuchen im geotechnischen Labor und in-situ-Prüfungen sowie der Sammlung von Daten sind auch örtliche Erfahrungen hinsichtlich der Planung sowie die Kenntnis der geologischen Beschaffenheit und der Bedingungen zu berücksichtigen.

Beispiele für Aufschüttungen, deren Kern aus schlecht geeigneten Materialien besteht, sind in Bild 7 dargestellt.



Legende

- A Fundament
- B Kern (schlecht geeignetes, wasserempfindliches Material)
- B₁ oberer Teil des Kerns, Material mit geringer Durchlässigkeit (üblicherweise tonhaltiger Boden), der B₂ von einer Infiltration von oben isoliert sowie mit seiner Masse auf B₂ wirkt, falls es sich dabei um einen quellenden Boden handelt
- B₂ schlecht geeignetes Material (empfindlich gegenüber Wassereinwirkung)
- C undurchlässiger Seitenzone (z. B. Ton oder Ton und Kalk)
- D obere Schichten
- L Deckschicht
- M undurchlässige Membran
- S Oberbau

Bild 7 — Zwei Beispiele für die Verwendung von schlecht geeigneten Materialien in einem Straßen- oder Bahndamm

6.4.6 Hohe Aufschüttungen

Das Setzungsrisiko nach dem Bau steigt mit der Höhe der Aufschüttung. Bei hohen Aufschüttungen (z. B. mit einer Höhe von mehr als 15 m) sind möglicherweise besondere Untersuchungen hinsichtlich der Verdichtung des Bodens erforderlich. Für den Bau hoher Aufschüttungen sollte die Verwendung weicher Böden und weichen Felsens sowie von Böden und Fels, die nach dem Bau zum Zersetzen neigen, vermieden werden. Falls sie verwendet werden, sollte das ausschließlich unter strengen Planungsvorgaben erfolgen. Hohe Aufschüttungen sind mittels eines bodenmechanischen Ansatzes auf ihre Standsicherheit hin zu

überprüfen. Zusätzlich muss der Untergrund als Auflager der Aufschüttung auf Verformbarkeit überprüft werden.

Die Eigensetzung von hohen Aufschüttungen, für die i. d. R. Werte zwischen 0,5 % der Höhe (bei guten Bedingungen wie z. B. verdichtbaren grobkörnigen Böden) und 1 % der Höhe (bei schlechten Bedingungen, feinkörnigen Böden mit einem hohen Wassergehalt) annehmen, sollte gesteuert werden. Die Eigensetzung kann durch einen höheren Grad der Verdichtung oder durch Verbesserung des Bodens mit Kalk bzw. hydraulischen Bindemitteln verringert werden.

Für hohe Aufschüttungen wird die Anwendung von Anforderungen an die fertige Leistung empfohlen. Darüber hinaus kann es erforderlich sein, eine Konsolidationszeit einzuhalten, sobald das Erdbauwerk seine vollständige Höhe erreicht hat und bevor alle empfindlichen Elemente der auf dem Erdbauwerk errichteten Infrastruktur fertiggestellt sind.

Unerwartete langfristige Setzungen beeinflussen das Längsprofil sowie den Querschnitt und können die Entwässerung stören. Wenn die Entwässerungswege nicht durchgängig vorhanden sind, wird zusätzliches Wasser in die Aufschüttung eingespeist, was oftmals zu weiteren Setzungen führt.

6.4.7 Aufschüttungen auf weichen Böden oder Überflutungsgebieten

Die Bemessung von Aufschüttungen auf weichen Böden ist nach EN 1997-1 durchzuführen. Spezielle Verfahren (Bodenverbesserung- oder Austausch, Schottersäulen usw.) könnten erforderlich sein, um dem Untergrund vor den Erdbauarbeiten eine angemessene Festigkeit zu bieten.

Bei der Auswahl von Einbaumaterialien zur Herstellung von Erddämmen, die auf weichen Böden oder in Überflutungsgebieten errichtet werden sollen, muss der Planer der Erdarbeiten Folgendes berücksichtigen:

- Potenzial für eine Sättigung des Einbaumaterials durch Hochwasser. Falls das ein wesentliches Risiko darstellt, sollte Einbaumaterial, dessen nachteilige Beeinflussung wahrscheinlich ist (wie z. B. eingebrachtes feinkörniges Einbaumaterial, das trockener ist als der optimale Wassergehalt), nicht unterhalb des vorhergesagten Hochwasserstands eingesetzt werden;
- die Notwendigkeit einer ersten grobkörnigen Schüttlage als Entwässerungsschicht und für eine stabiles Erdauflager, auf der eine angemessene Verdichtung der nachfolgenden Schichten des Einbaumaterials erreicht werden kann. Die erste Schüttlage sollte so bemessen werden, dass die Standsicherheit der Aufschüttung sichergestellt wird, wozu möglicherweise eine geosynthetische Bewehrung erforderlich ist, und an der Oberseite und/oder Sohle der ersten Schüttlage kann es erforderlich sein, eine geotextile Trennlage einzufügen, falls die Schicht aus einer gleichmäßig gestuften grobkörnigen Schüttung gebaut ist;
- die Geschwindigkeit des Schüttvorgangs ist so zu wählen, dass sie ausreicht, um die innerhalb des weichen Bodens unter der Aufschüttung entstandenen Porenwasserüberdrücke abzubauen und die Standsicherheit der Aufschüttung während des Baus sicherzustellen. Möglicherweise werden mehrere Phasen für den Bau der Aufschüttung festgelegt (dies ist Teil der geotechnischen Bemessung des Erdbauwerks).

6.4.8 Über Hohlräumen errichtete Aufschüttungen

Bei Erdarbeiten zum Bau von Aufschüttungen müssen ggf. Hohlräume berücksichtigt werden, die unter der Aufschüttung liegen. Es kann entschieden werden, dass:

- keine besonderen Maßnahmen notwendig sind und die Aufschüttung im natürlichen Baugrund gegründet werden kann;
- der natürliche Baugrund bis zu einer bestimmten Tiefe ausgeschachtet und ersetzt oder verdichtet werden muss;

- der natürliche Baugrund behandelt werden muss, um Hohlräume oder Löcher zu verfüllen;
- künstliche Hohlräume oder Konstruktionen repariert oder sogar verfüllt werden müssen, oder dass neue Konstruktionen zu bauen sind, damit die Aufschüttung ermöglicht wird;
- sonstige besondere Ausführungen angewendet werden müssen (zum Beispiel Aufschüttungen aus leichtem Einbaumaterial, Pfahlkonstruktionen, mit Geogittern verstärkte Matratzen).

6.4.9 Überschüssige Materialien

Überschüssige Bodenmassen, die nicht für Aufschüttungen, Dämme oder als Zuschlagstoffe verwendet werden können, werden häufig zur Geländeauffüllung eingebracht, um die umweltbezogenen Auswirkungen des Erdbauwerks auf die örtliche Gegend zu verbessern und zu begrenzen und um eine Entsorgung außerhalb des Geländes zu vermeiden. Oftmals sind diese Böden hinsichtlich ihrer Festigkeit oder Verunreinigung von minderer Qualität. Die Mindestanforderungen an die Verdichtung sind zu bewerten, um eine Instabilität und unzulässige Verformungen zu vermeiden. Wenn erforderlich, müssen Standfestigkeitsberechnungen nach EN 1997 unter Berücksichtigung möglicher Änderungen der Bodeneigenschaften, die nach dem Bau auftreten können (ähnlich bei allen Böschungen von Erdbauwerken), durchgeführt werden.

Verunreinigte Böden sind oftmals feinkörnig und von geringer Durchlässigkeit. Daher können leicht verunreinigte Böden zur Geländeauffüllung vor Ort eingebracht werden, da sich nur eine vernachlässigbare Menge Sickerwasser ausbreitet. Die Sickerwassermenge kann verringert werden, wenn diese Schicht mit einer Abdichtung aus Boden mit geringer Durchlässigkeit oder mit künstlichen Auskleidungen wie z. B. Kunststoffdichtungsbahnen bedeckt wird. Zur endgültigen Ablagerung von verunreinigten Böden müssen die nationalen Umweltvorschriften eingehalten werden.

Halden für Nassbaggerungsböden sollten genehmigt werden und über eine Entwässerung verfügen, so dass die meist feuchten und weichen Böden entwässert und erneut verwendet werden können (siehe EN 16907-6).

7 Planung von Erdarbeiten für Einschnitte

7.1 Allgemeines

Der Aushub sollte systematisch und geplant erfolgen, damit die Qualität des ausgehobenen Bodens und von Fels, die dann in Aufschüttungen verwendet werden, erhalten bleibt. Regen- und Bodenwasser müssen in einem System aus geneigten Oberflächen, offenen Gräben und Abflussrohren gesammelt werden. Ein Mehraushub oder die Bildung vorübergehender steiler instabiler Böschungen ist zu vermeiden. Der Aushubvorgang ist in den Baustellenunterlagen zu dokumentieren (siehe EN 16907-3). Die Terminologie für die Elemente von Einschnitten ist in Anhang A angegeben.

Viele der Aspekte, die mit dem Entwurf und der Planung von Aufschüttungen zusammenhängen, gelten auch für den Entwurf von Einschnitten (z. B. Standsicherheit von bestehenden Böschungen, Hohlräume, Entwässerung) (siehe 6.4 in dieser Norm). Diese Anforderungen werden an dieser Stelle nicht wiederholt.

7.2 Auszuhebende Materialien

Neben den geologischen Klassifizierungen können die innerhalb der geplanten Einschnitte anstehenden Materialien entsprechend der Bauverfahren klassifiziert werden, die erforderlich sind, um den Aushub zu verwirklichen. Ein erster Ansatz diesbezüglich sollte wie folgt aussehen (siehe EN 16907-3):

- fester bis mittelfester Fels (Sprengen, Vorzerkleinerung);
- mittelfester bis brüchiger Fels (Reißen, Lösen durch Aushub);

- Boden (Aushub allein durch konventionelle Maschinenteknik).

Die Lösbarkeit von Einschnitten kann vorbereitend mittels geotechnischer und geophysikalischer Untersuchungen sowie in-situ-Prüfungen eingeschätzt werden. Dieser Teil der Untersuchungen muss schwerpunktmäßig darauf ausgerichtet werden, Kenntnisse über die maßgebenden Materialeigenschaften innerhalb des Einschnitts zu erlangen, vor dem Gesichtspunkt ihrer Verwendbarkeit zum Bau von Aufschüttungen.

Die Beschreibung des Planums (Einschnittsohle) erfordert besondere Sorgfalt, da es sich dabei um die Gründungssohle der Infrastruktur selbst handelt.

7.3 Geometrie

Der Planer der Erdarbeiten muss sicherstellen, dass die nach EN 1997 bewertete Standsicherheit von Einschnittböschungen nicht durch das Bauverfahren und die tatsächlich vorliegenden Baugrundbedingungen nachteilig beeinflusst wird. Die Standsicherheit von Böschungen während des Baus kann beeinflusst werden durch:

- Höhe und Böschungswinkel des Einschnitts zu jeder Phase des Baus;
- beteiligte Materialien (siehe 7.2);
- geologischer Aufbau: Grundstruktur des Einschnitts und detailliertes Verhalten jeder Schicht;
- Entwässerungsbedingungen (siehe 7.4);
- temporäre Lagerhalden von Einbaumaterialien;
- temporäre Aushubzustände;
- für den Bau verfügbares Land;
- umweltbedingte Auflagen.

Jede geologische Formation hat ihre eigenen speziellen Standsicherheitsmuster, die stark von den Entwässerungsbedingungen beeinflusst werden. Daher können die Böschungen in einem Einschnitt entweder gleichmäßig oder unterschiedlich sein, insbesondere hinsichtlich dem Böschungsgefälle, der Gesamthöhe und der Entwässerung. Der Entwurf kann auch eine oder mehrere Berme einschließen, die sich im gesamten Einschnitt auf mittlerer Höhe oder an bestimmten Stellen befinden.

Einschnitte sollten so ausgeführt werden, dass sie standsicher sind und dass Inspektionen und Unterhaltungsarbeiten an der Böschung möglich sind. Deshalb müssen Mindestabmessungen für Maschinen, Angaben zu den beteiligten Materialien und die Entwässerungsbedingungen festgelegt werden.

7.4 Entwässerung

Die Entwässerungsbedingungen sind unter dem Gesichtspunkt der Gebrauchstauglichkeit der Anlage sehr bedeutend, um sowohl standsichere Böschungen als auch eine ausreichende Tragfähigkeit des Planums (Unterbau) sicherzustellen.

In Abschnitt 10 dieser Norm werden die Grundsätze für die Entwässerung ausführlich behandelt.

7.5 Gesamtstandsicherheit

Einschnitte müssen als standsichere Erdbauwerke geplant werden. Die Standsicherheit ist nach EN 1997-1 zu beurteilen. Die Gesichtspunkte in 7.3. hinsichtlich der Geometrie sind ebenfalls zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Die Verwitterung von Gründungsflächen kann ihr Langzeitverhalten in Bezug auf die Aushubfähigkeit, Standsicherheit der Hänge und weitere wichtige Eigenschaften beeinflussen.

7.6 Maßgebende Eigenschaften der Einschnittsohle (Unterbau)

Die Einschnittsohle ist die Ebene/„Planum“, auf der/dem der Oberbau aufgebracht wird. Die erforderlichen Eigenschaften des Erdmaterials, das die Sohle des Einschnitts bildet, werden üblicherweise durch den geotechnischen, bautechnischen oder straßenbautechnischen Entwurf bestimmt. Die geotechnische Untersuchung muss die zu erwartenden Baugrundbedingungen klären (siehe 5.2). Der Erdbauentwurf muss eine Bewertung dahingehend einschließen, ob diese geforderten Eigenschaften erfüllt werden können, und falls zutreffend, müssen zusätzliche Erdbaumaßnahmen erkannt werden, die zur Baugrundverbesserung notwendig sind (z. B. Aushub und Austausch weicher Böden, quellende oder lösliche Böden).

Die Erdbaumaßnahmen sind so zu planen, dass ein unzulässiger Grad der Zerstörung der Baugrundbedingungen infolge der Erdarbeiten vermieden wird. Bei Einschnitten in Böden erfordert dies gewöhnlich besondere Aufmerksamkeit bei Auswahl und Einbau eines geeigneten Entwässerungssystems, das entweder während oder unmittelbar nach der Erweiterung eines Einschnitts auf eine bestimmte Ebene herzustellen ist. Eine Schutzschicht (z. B. eine Opferschicht aus Aufschüttung oder Boden) darf verwendet werden, um eine Beschädigung der Einschnittsohle zu verhindern.

Der Planer der Erdarbeiten muss Baugrundbedingungen, die ein deutliches Risiko für die Baumaßnahme innerhalb von Einschnitten darstellen (z. B. hohe Porenwasserdrücke innerhalb von Schluffschichten und feinkörnigen Sanden), erkennen und spezielle Anforderungen, die als Mindestanforderung während der Baumaßnahmen einzuhalten sind (z. B. die Erfordernis zum Einbau einer Entwässerung vor dem Einbau bestimmter Elemente des Erdbauwerks), festlegen. Für weitere Einzelheiten siehe 4.6.

Es sollte beachtet werden, dass die Übergangsbereiche von Einschnitten zu Auffüllungen eine besondere Betrachtung hinsichtlich der oben genannten Probleme erfordern, weil die Entwässerungsbedingungen an diesen Stellen besonders schwierig sein können (siehe 6.4.3.3 und Abschnitt 10).

8 Planung von Erdarbeiten, die durch Nassbaggern und hydraulisches Einbringen der Aufschüttungen ausgeführt werden

Der Entwurf und die Ausführung von Baggerarbeiten zur Herstellung hydraulisch eingebauter Auffüllungen werden in EN 16907-6 behandelt, wobei viele gemeinsame Entwurfsmerkmale mit den Auffüllungen und Aushubarbeiten bestehen, die „im Trockenen“ durchgeführt werden.

Die Materialien werden aus einem Ursprungsgebiet (Entnahmestelle) entnommen, an ihren endgültigen Verwendungsort transportiert und anschließend zur Landgewinnung hydraulisch eingebracht. Diese Vorgänge werden in EN 16907-6 behandelt.

Die geforderten Eigenschaften der fertig gestellten Schüttung können entweder ohne spezielle Maßnahmen erreicht werden, wenn die ausgebaggerten Materialien über günstige geotechnische Merkmale verfügen und die technischen Anforderungen eingehalten werden, oder sie müssen hinsichtlich Steifigkeit, Standsicherheit, Dichte (z. B. zur Verhinderung der Verflüssigung) oder Beständigkeit verbessert werden, wenn die ausgebaggerten Materialien schlechte Eigenschaften aufweisen und die Anforderungen hoch sind.

Das Einbaumaterial ist nicht immer „frei“ wählbar, sondern abhängig vom Hauptziel der Baggerung. Das kann darin bestehen, den Meeresgrund oder das Flussbett zur Erreichung eines bestimmten Profils auszuheben, unabhängig von der Beschaffenheit des Untergrunds. Oder das Ziel besteht darin, unter Verwendung ausgewählter Materialien, die in den zugehörigen Entnahmestellen verfügbar sind, Land zu gewinnen.

Der auszubaggernde Bereich bedarf sorgfältiger Baugrunduntersuchungen, um die Beschaffenheit und den Zustand der vorhandenen Böden und die Möglichkeit, sie auszubaggern und als Einbaumaterial zu verwenden, bewerten zu können. Die Standsicherheit der Böschungen, die den gebaggerten (Aushub)-Bereich begrenzen, sollte zusammen mit einem möglichen Ausströmen feinkörniger Anteile während des Baggers und dem Vorhandensein verunreinigter Materialien bewertet werden.

Bei hydraulisch eingebrachten Auffüllungen sollte der Planer sowohl die Setzung des Baugrunds aufgrund der Last der Auffüllung als auch die Setzung durch das Eigengewicht der Auffüllung berücksichtigen. Die Bewegungen innerhalb der Auffüllung können durch Steuerung der Einbringung der ausgebagerten Materialien begrenzt werden. Die geforderte Oberflächensteifigkeit und Beständigkeit können durch Verdichtung der Oberflächenschichten oberhalb des Wasserspiegels erreicht werden, sowie durch Anwendung von Verfahren zur Baugrundverbesserung für den unter Wasser gelegenen Teil der Landgewinnung.

9 Bemessung von Erdarbeiten zur hydraulischen Einbringung von Abfällen

EN 16907-7 bezieht sich auf den hydraulischen Einbau von Böden und mineralischen Abfällen, die hauptsächlich aus Abbauvorgängen von Bodenschätzen an Land stammen, und wurde teilweise durch die kürzlich erfolgten Änderungen der EU-Verordnungen vorangebracht, die die technische Planung der damit verbundenen Sicherungsbauwerke regeln. Dennoch kann EN 16907-7 implizit in einem größeren Zusammenhang betrachtet werden, da ihre technischen Grundlagen gleichermaßen auch für Flugasche, Klärschlamm und eine Reihe weiterer hydraulisch eingebrachter industrieller Nebenprodukte anwendbar sein könnten.

Der hydraulische Einbau wird sehr verbreitet in einer Vielzahl von Industriebereichen bei der effizienten Entsorgung sowohl organischer als auch anorganischer Böden angewendet, weshalb der größte Bereich von technischen Anwendungen in EN 16907-7 behandelt wird. Die Hauptelemente sind nicht nur Einbringen, Verfestigung, Rekultivierung und Sanierung von hydraulischen Auffüllungen aus verarbeiteten Böden und mineralischen Abfällen, sondern auch die Notwendigkeit für:

- einen sicheren und stabilen Einschluss während des Einbringens;
- eine Oberflächenverfestigung nach Beendigung der Arbeiten, um die Sanierung zu unterstützen.

Obwohl die Hauptantriebskraft für EN 16907-7 die Maßnahmen zur Gewinnung von Mineralen und Rohstoffen sind, liegen auch andere Industriezweige aufgrund ihrer großen Verbreitung und ihrer Beständigkeit in ihrem Anwendungsbereich. Sie behandelt daher alle geotechnischen Aspekte der Untersuchung, des Entwurfs, der Ausführung, der Überwachung und der Sanierung von verarbeiteten Böden und mineralischen Abfällen, die mittels hydraulischer Einbauverfahren abgelagert werden. Zusammenfassend deckt die Norm die folgenden Phasen des Prozesses unter Berücksichtigung ihres Einflusses auf die geotechnischen Eigenschaften des Endbauwerks ab:

- Aushub – der Umfang, in dem die Geologie, die Mineralogie und der Aushubvorgang sowohl die geotechnischen als auch geochemischen Eigenschaften von partikelförmigen Abfällen beeinflussen;
- Prozess – der Umfang, in dem die Zerkleinerung und Verarbeitung die Eigenschaften der hydraulisch eingebrachten Auffüllung (sowohl physikalisch als auch chemisch) verändern und beeinflussen;
- Transport – der Einfluss der Materialeigenschaften auf die Wahl der Transportmöglichkeiten der hydraulisch einzubringenden Auffüllung;
- Einbau – der Einfluss von geotechnischen und geochemischen Eigenschaften auf die Verfahren zum Einbau der hydraulischen Schüttung, um eine effiziente Lagerung zu erreichen und die Sanierung zu optimieren;
- Konstruktion – die konstruktiven Möglichkeiten, die für den Einschluss, die Lagerung und den Verschluss zur Verfügung stehen, um einen sicheren, stabilen und umweltverträglichen Abschluss für die Deponie zu erreichen.

Das Hauptziel ist daher die Deponierung der Böden und mineralischen Abfälle durch hydraulischen Einbau in einer speziell errichteten und ordnungsgemäß bemessenen Lagerstätte. Die Größe der Deponie für