

DIN EN 16907-1

ICS 93.020

Einsprüche bis 2016-02-11

Entwurf**Erdarbeiten –
Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln;
Deutsche und Englische Fassung prEN 16907-1:2016**

Earthworks –
Part 1: Principles and general rules;
German and English version prEN 16907-1:2016

Terrassement –
Partie 1: Principes et règles générales;
Version allemande et anglaise prEN 16907-1:2016

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-12-11 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.entwuerfe.din.de bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nabau@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/stellungnahme oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau), 10772 Berlin (Hausanschrift: Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin).

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 286 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16907-1:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 396 „Erdarbeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

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

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des Dokuments (prEN 16907-1:2016) beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Erdarbeiten — Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln

Terrassement — Partie 1 : Principes et règles générales

Earthworks — Part 1: Principles and general rules

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm

Dokument-Untertyp:

Dokument-Stage: CEN-Umfrage

Dokument-Sprache: D

STD Version 2.7f

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	6
Einleitung	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Grundsätze für die Bemessung und Ausführung von Erdarbeiten	9
4.1 Allgemeines	9
4.2 Stufen von Erdbauprojekten	9
4.3 Anweisungen für die Ausführung von Arbeiten	10
4.4 Bemessung von Erdarbeiten und Bemessung von Erdbauwerken	11
4.5 Erdarbeiten, nachhaltige Entwicklung und Umwelt	12
4.6 Risikomanagement	13
4.7 Arten von Erdarbeiten	14
5 Spezielle Baugrund- und Materialuntersuchungen	14
5.1 Für die Bemessung von Erdarbeiten benötigte Angaben	14
5.2 Koordination geotechnischer Untersuchungen für Erdbauwerke und Erdarbeiten	15
5.2.1 Allgemeines	15
5.2.2 Baugrunduntersuchungen für die geotechnische Bemessung	15
5.2.3 Spezielle geotechnische Untersuchungen für Erdarbeiten	15
5.2.4 Geotechnische Berichterstattung	16
5.3 Anwendung von Klassifizierungssystemen	17
6 Bemessung von Erdarbeiten für Erddämme	18
6.1 Einleitung	18
6.2 Bemessungsverfahren	19
6.2.1 Allgemeines	19
6.2.2 Erddammzonen	19
6.3 Wahl der Eigenschaften des Schüttmaterials und des Verdichtungsprozesses	24
6.3.1 Allgemeines	24
6.3.2 Beschreibung von Materialien	25
6.3.3 Kriterien für die Bewertung von verdichtetem Schüttmaterial	25
6.3.4 Verdichtungsverhalten von Schüttmaterialien	27
6.3.5 Zusammenhangsprüfung zur Bewertung der Leistungsfähigkeit der Schüttung	29
6.3.6 Verbindung zwischen dem Bauverfahren und der Bemessung der Erdaufschüttung	30
6.3.7 Validierung des Verdichtungsvorgangs für ein bestimmtes Schüttmaterial	30
6.3.8 Bemessung des Erddamm-Querschnitts	31
6.4 Bemessung spezieller Teile von Erddämmen	31
6.4.1 Einleitung	31
6.4.2 Deckschichten	31
6.4.3 Übergangszonen	32
6.4.4 Erddämme in Hanglage	34
6.4.5 Spezielle Materialien	34
6.4.6 Hohe Erddämme	36
6.4.7 Erddämme auf weichen Böden	37
6.4.8 Über Hohlräumen errichtete Erddämme	37
6.4.9 Überschüssige Materialien	38

7	Bemessung von Erdarbeiten für Einschnitte.....	38
7.1	Allgemeines	38
7.2	Beteiligte Materialien	38
7.3	Geometrie.....	39
7.4	Entwässerung	39
7.5	Gesamtstandsicherheit	39
7.6	Maßgebende Eigenschaften der Einschnittsohle (Unterbau)	39
8	Bemessung von Erdarbeiten, die durch Nassbaggern und hydraulische Einbringung der Schüttungen ausgeführt werden.....	40
9	Bemessung von Erdarbeiten zur hydraulischen Einbringung mineralischer Abfälle	41
10	Entwässerung	42
10.1	Entwässerung zum Sammeln von Wasser	42
10.2	Schutz von Böschungen gegen Erosion.....	44
11	Optimierung der Bemessung des Erdbauprojekts.....	45
12	Spezifikationen für Erdarbeiten	46
12.1	Allgemeines	46
12.2	Endproduktspezifikation	48
12.3	Verfahrensspezifikation	48
12.4	Leistungsspezifikation	49
12.5	Zusätzliche Anforderungen an tiefe Aufschüttflächen/Gebäude und Bauwerke	49
13	Ausführung von Erdarbeiten.....	50
14	Überwachung von Erdarbeiten und Überprüfung der Leistung von Erdbauwerken.....	50
14.1	Einleitung	50
14.2	Anforderungen und Verfahren zur Überwachung und Überprüfung von Erdarbeiten.....	51
14.3	Überprüfung der Leistung von Erdbauwerken	52
15	Anwendung nationaler Erfahrungen und nicht widersprüchlicher Vorschriften.....	52
15.1	Allgemeines	52
15.2	Informative Beispiele für auf Erfahrungen beruhende nationale Verfahrensweisen	53
Anhang A (informativ) Beispiel für ein Verfahren zur Validierung des Verdichtungsvorgangs für ein bestimmtes Schüttmaterial – Organisation und Ausführung von Versuchsquerschnitten		54
Anhang B (informativ) Geometriefestlegungen für Erdarbeiten und Erdbauwerke		56
Anhang C (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Frankreich.....		58
C.1	Einleitung	58
C.2	Klassifizierung von Materialien	58
C.3	Bemessung von Erdarbeiten	62
C.3.1	Einleitung	62
C.3.2	Festlegung der zu erreichenden mechanischen Eigenschaften	62
C.3.3	Klassifizierung von Materialien hinsichtlich ihres Wassergehalts und der Wetterbedingungen.....	64
C.3.4	Schüttmaterial	66
C.3.5	Deckschicht.....	68
C.3.6	Verdichtung der Aufschüttung	71
C.3.7	Abbau und Transport von Böden und Fels	72
C.3.8	Verdichtung von Materialien	73
C.4	Steuerung von Erdarbeiten.....	73
C.4.1	Einleitung	73
C.4.2	Technische Abläufe und Kontrollverfahren.....	73
C.5	Literaturhinweise.....	77
Anhang D (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Deutschland		79

D.1	Einleitung	79
D.2	Klassifizierung von Materialien	80
D.2.1	Klassifizierung nach DIN 18196.....	80
D.2.2	Klassifizierung nach DIN 18300.....	86
D.2.3	Klassifizierung von Bodengruppen nach ihrer Frostempfindlichkeit nach ZTV E-StB.....	87
D.3	Ausführung von Erdarbeiten.....	87
D.3.1	Lösen, Verladen und Transportieren.....	88
D.3.2	Einbringen und Verdichten.....	88
D.3.3	Besondere Bauverfahren im Erdbau nach ZTV E-StB.....	91
D.4	Kontrolle von Erdarbeiten	92
D.4.1	Prüfungsarten	92
D.4.2	Prüfverfahren	93
D.5	Literaturhinweise.....	94
Anhang E (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Norwegen.....		97
E.1	Einleitung	97
E.2	Klassifizierung von Materialien	97
E.3	Bemessung der Erdarbeiten.....	98
E.3.1	Nassbaggerung	98
E.3.2	Unterwassersprengung.....	99
E.3.3	Transport auf See	99
E.3.4	Verteilung und Verdichtung von Schüttungen.....	99
E.3.5	Aufschüttungen unter Wasser	109
E.3.6	Austausch/Verschiebung weicher Böden.....	112
E.3.7	Einfluss von Wetterbedingungen	112
E.4	Qualitätskontrolle von Erdarbeiten	112
E.5	Literaturhinweise.....	114
Anhang F (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Spanien		115
F.1	Einleitung	115
F.2	Klassifizierung von Materialien	115
F.2.1	Allgemeines	115
F.2.2	Bodenklassen.....	116
F.2.3	Klassen von Schüttungen, die aus felsigen Materialien errichtet werden	117
F.3	Mögliche Verwendung grenzwertiger Materialien	118
F.3.1	Einige grenzwertige Böden	118
F.3.2	Einige grenzwertige Felsmaterialien	119
F.4	Vorausgehende Bemessung des Erdbauwerk-Querschnitts.....	120
F.5	Arten von zu errichtenden Erdbauwerken	121
F.6	Grundlegende Bauvorschriften.....	122
F.6.1	Vorbereitung der Baugrundfläche für den Bau der Erd- oder Felsaufschüttung.....	122
F.6.2	Erdaufschüttungen.....	122
F.6.3	Felsaufschüttungen und willkürliche Schüttungen	124
F.7	Kontrolle der Erdarbeiten.....	125
F.7.1	Allgemeines	125
F.7.2	Erdaufschüttungen.....	125
F.7.3	Felsaufschüttungen und willkürliche Schüttungen	126
F.8	Literaturhinweise.....	127
Anhang G (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Schweden.....		128
G.1	Einleitung	128
G.2	Klassifizierung von Materialien	128
G.2.1	Einleitung	128
G.2.2	Bodenklassifizierung	128
G.2.3	Klassifizierung von Fels	130
G.3	Bemessung von Erdarbeiten.....	130
G.4	Kontrolle der Erdarbeiten.....	131

Anhang H (informativ) Überblick über nationale Verfahrensweisen – Vereinigtes Königreich	132
H.1 Einleitung	132
H.2 Klassifizierung von Materialien	133
H.3 Bemessung von Erdarbeiten	136
H.3.1 Allgemeines	136
H.3.2 BS 6031:2009, 8.2: Spezifikation von Erdarbeiten mit dem SHW-Ansatz	136
H.3.3 In der SHW verlangte Dokumentation in einer Erdbau-Spezifikation	137
H.3.4 Anforderungen an die Verdichtung (Klassifizierung, Bemessung und bauliche Aspekte)	137
H.3.5 Alternative Spezifikationen	138
H.3.6 Zusätzliche Anforderungen an tief liegende Schüttflächen/Gebäude und Bauwerke	138
H.3.7 Auswahl von Schüttmaterialeigenschaften (Bemessung von Erdaufschüttungen)	138
H.3.8 Auszüge aus den Kerntabellen der UK Specification for Highway Works (SHW)	141
H.4 Kontrolle der Erdarbeiten während des Baus	147
H.5 Literaturhinweise	148

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16907-1:2016) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 396 „Erdarbeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument ist Teil der folgenden unter EN 16907 zusammengefassten Europäischen Normen zu Erdarbeiten:

- *Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln (dieses Dokument)*
- *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 nassgebaggertem Auffüllmaterial*
- *Teil 7: Hydraulische Einbringung von mineralischen Abfällen*

Einleitung

Erdarbeiten sind Tiefbaumaßnahmen mit dem Ziel, Erdbauwerke zu schaffen, indem die Geometrie der Erdoberfläche für Bau- oder sonstige Aktivitäten geändert wird. Anwendungsgebiete von Erdarbeiten hängen mit Folgendem zusammen:

- 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;
- Aufschüttungen zur Landschaftsgestaltung;
- Verfüllung von Tagebaugruben;
- Abgangssperren;
- usw.

Erdarbeiten sind dadurch gekennzeichnet, dass verfügbare natürliche und wiederaufbereitete Materialien so verwendet werden müssen, dass vorgeschriebene Eigenschaften erreicht werden.

Die von CEN/TC 396 erarbeitete Normenreihe ist in mehrere Teile untergliedert, die den verschiedenen Stufen der Planung, Ausführung und Steuerung von Erdarbeiten entsprechen und bei der Ausführung von Erdarbeiten berücksichtigt werden sollten.

- Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln (dieses Dokument)
- 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 Auffüllmaterial
- Teil 7: Hydraulische Einbringung von mineralischen Abfällen

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 (diese Aspekte werden in anderen Europäischen Normen behandelt). 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.

1 Anwendungsbereich

Teil 1 dieser Europäischen Norm legt Definitionen, Grundsätze und allgemeine Regeln für die Planung, Bemessung und Spezifikation von Erdarbeiten fest. Er führt die anderen Teile der Norm ein, welche gemeinsam mit Teil 1 angewendet werden.

Er gilt für alle Arten von Erdbauwerken unabhängig von deren vorgesehenem Verwendungszweck (Straßen, Schienenwege, Rollfelder, Wasserwege, Gebäude, Geländeaufschüttungen, Abgangssperren usw.), mit Ausnahme der nachstehend aufgeführten Arten:

- einige spezielle Arten von Arbeiten, so darf z. B. die Ausführung von Gräben und kleinen Erdbauwerken nach vereinfachten oder besonderen Regeln organisiert werden;
- für einige Bauwerke wie Deiche und Dämme sind Erdarbeiten erforderlich, bei denen spezielle Anforderungen an die Bemessung und den Bau gestellt werden: diese können über die in dieser Norm festgelegten Regeln hinausgehen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

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

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

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

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 B enthalten.

3.1 Erdarbeiten

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

3.2 Erdbauwerk

durch Erdarbeiten (Einschnitt, Aufschüttung) entstandenes Tiefbauwerk, das aus Böden, Fels, Nebenprodukten oder wiederaufbereiteten Materialien hergestellt wurde

3.3 Bemessung von Erdarbeiten

Festlegung des Bauablaufs zur Herstellung eines festgelegten Erdbauwerks

3.4 Materialien

sämtliche(s) bei Erdarbeiten verwendete Böden, Fels, Nebenprodukte und wiederaufbereitete Materialien

Der Begriff „Materialien“ umfasst keine Bindemittel, Geokunststoffe und sonstigen Werkstoffe, die mit ihrer eigenen Benennung bezeichnet werden.

3.5

Schüttmaterial

Material, das zur Herstellung eines Erddamms verwendet wird

3.6

Erddamm

jedes Erdbauwerk, das durch Einbringen von Schüttmaterial in kontrollierter Art und Weise hergestellt wird (einschließlich der Verfüllung großer Baugruben und Erdbauwerken, die durch Nassbaggerung hergestellt werden)

3.7

Erddammzone

Unterteilung eines Erddamms, wie z. B. Dammsohle, Dammkern, Dammschultern und Dammkrone

3.8

Oberbau

jede Art von Hochbauwerk, das sich auf einem Erddamm befindet (Straße, Gleiskörper, Gebäude usw.)

3.9

Deckschicht

spezielle Übergangsschicht, Teil der Dammkrone, die unterhalb des Oberbaus angeordnet ist

3.10

Einschnitt

durch Bodenaushub hergestelltes Erdbauwerk

4 Grundsätze für die Bemessung und Ausführung von Erdarbeiten

4.1 Allgemeines

Erdarbeiten umfassen den Abtrag, die Verladung, den Transport, die Umwandlung/Verbesserung, die Einbringung, Verfestigung und Verdichtung natürlicher Materialien (Böden, Fels), Nebenprodukte oder wiederaufbereiteter Materialien, um stabile und dauerhafte Einschnitte, Erddämme oder Aufschüttungen mit vorgeschriebenen Eigenschaften zu erhalten. Diese Arbeiten dürfen unter Wasser ausgeführt werden. Erdarbeiten erfordern Planung, Bemessung, Bau und Instandhaltung. Sie hängen von den Eigenschaften der Materialien, den geforderten Eigenschaften des Bauwerks und von der Umgebung ab.

Der vorliegende Teil 1 der Norm enthält Regeln in Bezug auf die Organisation von Erdbauprojekten und ihre Bemessung und Planung.

4.2 Stufen von Erdbauprojekten

Jedes Erdbauprojekt umfasst die beiden folgenden Hauptstufen:

- Untersuchungen vor Baubeginn, einschließlich:
 - Analyse des zu errichtenden Erdbauwerks;
 - Untersuchungen der Baustelle und Klassifizierung von Materialien (prEN 16907-1:2016, Abschnitt 5 und prEN 16907-2:2015, Abschnitt 5);
 - Bewertung der Verträglichkeit dieser Materialien mit den geforderten Eigenschaften des Erdbauwerks (prEN 16907-1:2016, Abschnitte 6, 7, 8 und 9);
 - Auswahl eines Bauverfahrens (prEN 16907-1:2016, Abschnitte 3, 6 und 7);
 - Optimierung der Erdarbeiten bezogen auf das Gesamtprojekt (prEN 16907-1:2016, Abschnitt 11)
 - Spezifikationen für die Ausführung der Arbeiten (Bauverfahren, Überwachung, Qualitätskontrolle), (prEN 16907-1, -3, -5, -6 und -7);

- Ausführung der Arbeiten (Bau);
 - Einbau vor Ort;
 - Überprüfung der Bemessungsannahmen (die gegebenenfalls überarbeitet werden dürfen);
 - Ausführung der Arbeiten wie festgelegt;
 - Überwachung;
 - Qualitätsbewertung;
 - Überprüfung der Eigenschaften des fertig gestellten Erdbauwerks in Bezug auf die Anforderungen, was zur Annahme der Ergebnisse der Erdarbeiten führt.

4.3 Anweisungen für die Ausführung von Arbeiten

Aus der Bemessung der Erdarbeiten müssen detaillierte Anweisungen für die Ausführung der Arbeiten hervorgehen (Teil 3 bis 7). Diese Anweisungen umfassen u. a. folgende Punkte:

- für Baustellen;
 - Art und Beschaffenheit des zu bearbeitenden Geländes;
 - Gründungssohle, Art der Gründung und Bau von Gebäuden in der Nähe;
 - Art und Beschaffenheit vorhandener Einschlüsse oder Stützkonstruktionen;
 - Art, Lage, Abmessungen und Eigentümer natürlicher oder künstlicher Hohlräume und Hindernisse (Anker, Geokunststoffe, Schottersäulen, Dichtkörper, Verpressmaterial usw.);
- für Erddämme und Einschnitte;
 - Größe (Volumen), Art, Lage, Abmessungen und Aufbau der Erdbauwerke;
 - Anzahl, Art, Lage, Abmessungen, Ausbildung und Zweck von Baugruben und Gräben, einschließlich Mindestabmessungen des Arbeitsraums;
 - Neigung von Böschungen und Planung von Bermen;
 - Abweichungen von den angegebenen Abmessungen für Ablations- oder Abtragungsprofile; insbesondere hinsichtlich Planum und Beschichtungsdicke;
 - Schutz von Baugruben und Gräben, Erddämmen und Böschungen;
 - Bemühungen hinsichtlich Verlegung und Sanierung des Schutzes für Baugruben und Gräben, Erddämme und Böschungen;
 - Aufrechterhaltung einer Schutzschicht über der Gründungssohle, Dicke der Schutzschicht und Zeitpunkt der Entfernung;
 - Beschreibung und Klassifizierung von Böden, Fels und sonstigen Materialien in Übereinstimmung mit Teil 2;
 - Hauptunterschiede hinsichtlich der Eigenschaften und Zustände der Böden, des Felses und sonstiger Materialien vor und nach dem Aushub;
 - Einschränkungen hinsichtlich der Verwendung bestimmter Materialien, insbesondere von Nebenprodukten und wiederaufbereiteten Materialien;
 - Nutzung, Behandlung und Verarbeitung von Böden, Fels und sonstigen Materialien sowie Art der Verlegung oder weitere Verwendungen;
 - Art, Lage, Länge, Bedingungen und mögliche Einschränkungen hinsichtlich der Nutzung von Transportwegen;
 - Art und Möglichkeiten für Lagerorte;
 - Nutzung von Böden für Bepflanzungszwecke;

- Art und Anwendungsbereich von Eignungsnachweisen und Qualitätsbescheinigungen, die vom Auftragnehmer für die zu liefernden Materialien gefordert werden;
- Anforderungen und Nachweise für die Verdichtung;
- sich aus Gutachten, insbesondere aus geotechnischen und hydrogeologischen Gutachten ergebende Richtlinien, und in welchem Maße diese Richtlinien hinsichtlich der Ausführung der Arbeiten befolgt werden sollten;
- Richtlinien, die sich aus wasserrechtlichen Genehmigungen ergeben;
- Sammeln und Ableiten von Oberflächenwasser aus benachbarten Bereichen sowie Grundwasser, Schichtenwasser, Quellwasser und Sicherwasser;
- Planung des Zugangs von den Erdarbeiten zu anderen Bauten;
- Einbau von geosynthetischem Material;
- Größe, Art, Lage, Abmessungen und Massen von Einbauten, d. h. Niveau der Setzung, Schachtringe, Rohre;
- sich aus geotechnischen Berechnungen und Analysen ergebende Richtlinien;
- Reinigung von Bauteilen, die freigelegt wurden;
- Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen für gefährdete Bauwerke.

4.4 Bemessung von Erdarbeiten und Bemessung von Erdbauwerken

Die Bemessung von Erarbeiten unterscheidet sich von der Bemessung von Erdbauwerken.

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

Bei Erarbeiten bedeutet „Bemessung“ die „Festlegung des Prozesses“, der es ermöglicht, natürlichen Baugrund vor Ort (Boden oder Fels) und/oder Nebenprodukte oder wiederaufbereitete Materialien in einen gut verdichteten und dauerhaften Erddamm mit den geforderten Eigenschaften umzuwandeln oder einen stabilen Einschnitt zu erreichen. Dieser Entscheidungsprozess umfasst die Beschreibung des natürlichen Untergrunds, die Wahl der geeigneten Ausrüstungen und der Regeln für die Planung des Abbaus, Transports, der Verdichtung und Kontrolle der Materialien. Die Produkte dieser Bemessung schließen Risikobewertungsberichte, Ausführungspläne, Zeitpläne, Arbeitsablaufpläne usw. ein. Diese Bedingungen können durch auf Erfahrungen beruhende Vorschriften oder durch eine leistungsabhängige Bemessung erreicht werden.

Bei der Bemessung der Erarbeiten ist Folgendes zu berücksichtigen:

- die Art des Bauwerks (Einschnitt, Erddamm usw.);
- die geforderten Eigenschaften des fertig gestellten Bauwerks;
- die Art und Beschaffenheit der zu bearbeitenden Materialien (prEN 16907-2);
- die hydrogeologischen und meteorologischen Zusammenhänge;
- die Bedeutung des zu errichtenden Erdbauwerks;
- die Art der für die Ausführung der Arbeiten zur Verfügung stehenden Ausrüstungen (prEN 16907-3);
- die Möglichkeiten, die eine Materialbehandlung für den Bau der Aufschüttung bietet (prEN 16907-4).

Anhand der Bemessung werden Spezifikationen für die Ausführung der Arbeiten erstellt (prEN 16907-3, -4, -6, -7).

Die sich aus der Bemessungsphase ergebenden Spezifikationen beschreiben die Einzelheiten des Bauvorgangs. Sie sind zur Vorbereitung der Überwachungs- und Qualitätskontrollverfahren anzuwenden. Die Spezifikationen umfassen:

- die angenommene Art (Klassen) von Materialien, die während der Ausführung der Arbeiten zu überprüfen ist;
- der mechanische Prozess, der für den Abbau, Transport, die Schichtung, eine mögliche Behandlung mit Bindemitteln oder Belüftung/Befeuchtung sowie Verdichtung angewendet wird;
- der Bestimmungsort jedes Volumens von abgetragenen Material;
- der Ort einer zeitweiligen oder dauerhaften Entsorgung;
- der Plan der einzelnen Arbeitsabläufe;
- die klimatischen Einschränkungen, z. B. wie bei Temperaturen nahe dem Gefrierpunkt 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 Schüttmaterials 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 Bemessung 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, bei Gebrauch und bei künftigen Wartungsarbeiten berücksichtigt werden.

Baugrundbedingungen umfassen Folgendes:

- Einschränkungen aufgrund der Art: 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 Hochspannungsleitungen, Wasserleitungen, Öl- und Gasleitungen).

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

4.5 Erdarbeiten, nachhaltige Entwicklung und Umwelt

Bei 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 Wiederverwendung der am Standort verwendeten Materialien;
- Begrenzung des Schwerlastverkehrs beim Transport von Materialien zur Baustelle;
- die Verringerung der Auslagerung von Lagerhalden und Entnahmegruben;
- 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 Aufschüttmaterialien und Verringerung der ausgestoßenen 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 (Teil 3) Folgendes ist zu berücksichtigen:

- Lärm und Schwingungen;
- Straßenverkehr;
- Abfallentsorgung und Behandlung verunreinigter Böden;
- Staubproduktion, einschließlich Bindemitteln im Falle der Behandlung von Schüttmaterial;
- Luft- und Wasserverschmutzung;
- Entsorgung überschüssiger oder ungeeigneter Materialien vor Ort sowie deren Verbringung.

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

Bei Beginn eines neuen Projektes sollten möglicherweise vorhandene verunreinigte Böden und die Möglichkeit des Einsatzes künstlicher oder wiederaufbereiteter Materialien aus Industrie- oder Abbauprozessen von Anfang an berücksichtigt werden, um die Chancen für eine Wiederverwendung zu maximieren.

4.6 Risikomanagement

Wie bei allen Bautätigkeiten sollte auch bei komplexen Projekten, die Erdarbeiten einschließen, 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 Geotechnik verbunden, wie z. B.

- unbekannte Baugrundbedingungen aufgrund einer unzureichenden Bodenuntersuchung;
- die Auswirkungen auf benachbarte Bauwerke/Infrastruktur;
- die Empfindlichkeit der Böden zusammen mit dem Wetter 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).

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

4.7 Arten von Erdarbeiten

Erdarbeiten umfassen einen großen Bereich von Tätigkeiten, die nicht von einer einzigen Reihe von Regeln abgedeckt werden können. Erfahrungen und vorhandene Regeln sind auf eine der vier folgenden Arten von Arbeiten anwendbar, die als Leitfaden für die Teile und Abschnitte dieser Norm dienen:

- Bau von Erddämmen (prEN 16907-1:2015, Abschnitt 6, prEN 16907-3, -4, -5, -6:2015);
- Ausführung von Einschnitt- und Aushubarbeiten (prEN 16907-1:2015, Abschnitt 7, prEN 16907-3:2015);
- hydraulisches Einbringen von nassgebaggertem Material (prEN 16907-1:2015, Abschnitt 8, prEN 16907-6:2015);
- hydraulisches Einbringen von Böden und mineralischen Abfällen (prEN 16907-1:2015, Abschnitt 9, prEN 16907-1:2015).

5 Spezielle Baugrund- und Materialuntersuchungen

5.1 Für die Bemessung von Erdarbeiten benötigte Angaben

Die Beschreibung, Identifizierung, Klassifizierung und Charakterisierung von Böden, Fels und sonstigen Schüttmaterialien sind ein wesentlicher Bestandteil der Bemessung von Erdarbeiten. Daraus ergeben sich die notwendigen Informationen, um bestimmen zu können, welcher Art das jeweilige Material ist, welches die beste Möglichkeit ist, wie dieses Material aus den Baugruben oder Einschnitten entnommen werden kann, welches der Endzustand ist, den das Material nach der Verdichtung erreichen kann und welches die beste Möglichkeit ist, diesen Endzustand zu erreichen.

Die Beschreibung natürlicher und künstlicher Materialien für Erdarbeiten sollte Folgendes abdecken:

- die Art des Materials (Böden, Fels, sonstige Materialien);
- Vorhandensein von Schadstoffen;
- Vorhandensein organischer Bestandteile und Entstehung reaktiver Mineralien (Gips, lösliche Salze usw.);
- alle notwendigen Angaben zur Klassifizierung der Materialien (Teil 2):
 - für Böden: Korngrößen, Plastizität von tonhaltigen Böden usw.;
 - für Fels, Ursprung, Abbaubarkeit, Brechbarkeit usw.;
 - für sonstige Materialien: Bestandteile, Mineralogie usw.;
- Angaben zum Ausgangszustand natürlicher Böden und von Fels (Dichte, Wassergehalt und Korngrößenverteilung von Böden, Diskontinuitäten im Fels usw.);
- die Bestimmung der optimalen Verdichtungseigenschaften für Schüttmaterialien;
- falls notwendig, eine Schätzung der Verformbarkeit, Beständigkeit und Durchlässigkeit des verdichteten Materials;
- alle weiteren Angaben, die für das Projekt erforderlich sind.

Diese Angaben sind in das System für die Bemessung von Erdarbeiten einzugeben, das auf der Grundlage spezifischer Verdichtungsprüfungen im Originalmaßstab oder anhand von Klassifizierungen für Erdarbeiten gewählt wurde.

5.2 Koordination geotechnischer Untersuchungen für Erdbauwerke und Erdarbeiten

5.2.1 Allgemeines

Geotechnische Baugrunduntersuchungen für ein Erdbauwerk-Projekt müssen angemessene und ausreichende Angaben für die Bemessung und den Bau des neuen Bauwerks liefern. Ein Teil dieser Angaben wird in EN 1997-2 geregelt und sollte die Bemessung des fertiggestellten Bauwerks und der vorläufigen Böschungen und Strukturen abdecken, 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 (mitunter als Quellen-Vorstudie bezeichnet), 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.

Geotechnische Untersuchungen 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, das eine Verunreinigung aufgrund von vom Menschen verursachten Änderungen oder geogenen Materialanhäufungen vorliegt, müssen die umweltrelevanten Parameter ermittelt werden.

5.2.2 Baugrunduntersuchungen für die geotechnische Bemessung

Mit Erdarbeiten werden zwei Hauptarten von Erdbauwerken geschaffen: „Aushübe und Böschungen“ und „Erddämme“. 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 1997-2:2007 wird die Notwendigkeit erkannt, die Untersuchungen zu planen, damit ausreichend Angaben für die verschiedenen Bemessungsphasen 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 Phase des Plans 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 und um Beweise über benachbarte Bauwerke zu bewahren.

Es sollte anerkannt 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 sehen, 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 geotechnische Untersuchungen für Erdarbeiten

Für die Bemessung von Erdarbeiten sind Angaben über die Art, den Zustand, die Geometrie und das Volumen von Böden, Fels und sonstigen Materialien erforderlich, die ausgeschachtet, 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 Zonen, 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, Gruben oder Lagerhalden entnommen werden. Teil 2 der vorliegenden Norm bildet die Grundlage für die Benennung der Materialien und enthält eine Auflistung von Parametern und entsprechenden Prüfungen.

Der Zustand der Materialien wird anhand von Messungen der Dichte und des Wassergehaltes vor Ort oder im Labor bewertet.

Die Geometrie und das Volumen natürlicher Baugrundsichten beruhen auf einer geologischen Analyse und Bohrungen sowie weiteren Vor-Ort-Prüfungen einschließlich geophysikalischer Untersuchungen.

Für den Bau von Erddämmen werden die Verdichtungseigenschaften von Böden mittels Verdichtungs- und Verformungsprüfungen im Labor (Abschnitt 5) ermittelt. Eine angemessene Bodenmenge sollte entnommen werden, damit Prüfungen des Bodens bei einer Reihe von Wassergehalten möglich sind, wodurch die Bewertung des annehmbaren Wassergehalt-Bereichs des Materials, der für eine wirksame Verdichtung erforderlich ist, ermöglicht wird. Anschließend können spezielle Untersuchungen für eine geeignete Behandlung des Bodenmaterials vorgenommen werden, das nicht in diesem annehmbaren Wassergehalt-Bereich liegt (Teil 3 und 4 der Norm). Wenn das Material aufgrund der Korngröße oder Größe einzelner Blöcke nicht im Labor geprüft werden kann, ist eine große Prüfeinrichtung zu verwenden oder es sind Verdichtungsprüfungen im Originalmaßstab vor Ort durchzuführen.

Für Aushübe werden Angaben zur Härte des Baugrunds benötigt, was einschließt, dass verschiedene Erdaushubmaschinen verwendet werden, sowie Angaben über die Art und den Zerlegungszustand des Felses, 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 geologische und geophysikalische Analysen von Bodenmassen einschließlich Bohrungen und Sondierungen gewonnen werden. Sofern maßgebend sind die Steifigkeit und Veränderlichkeit des Baugrunds mittels Laborprüfungen 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 von Bohrungen und Sondierungen werden durch den bisherigen Kenntnisstand und durch das Bauobjekt bestimmt, sowie durch die Schichten und die Baugrundbedingungen. Wenn keine weiteren Hinweise zur Verfügung stehen, können Vorkehrungen für einen Abstand von etwa 100 m zwischen den direkten Erkundungsöffnungen getroffen werden. Die Öffnungen sollten so tief sein, dass alle Schichten und die Grundwasserbedingungen, die sich auf die Erdarbeiten auswirken, einbezogen sind. In besonderen Situationen kann es notwendig sein, ein engmaschigeres Untersuchungsrastrer und weitere Untersuchungsverfahren anzuwenden.

Die Untersuchungen hinsichtlich Erdarbeiten und weiteren Bauwerken sollten koordiniert werden.

Untersuchungen sollten chemische Prüfungen der umweltbezogenen Parameter einschließen.

5.2.4 Geotechnische Berichterstattung

Der Ansatz für die Berichterstattung muss den Regeln der EN-1997-Reihe 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 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 vorgegebene Terminologie zu finden, um Missverständnisse in Bezug auf Böden, Fels und sonstige Materialien auf ein Mindestmaß zu verringern, wenn geotechnische Berichte und weitere Unterlagen zwischen verschiedenen Personen ausgetauscht werden.

Die Klassifizierungen für Erdarbeiten sollten die maßgebenden Eigenschaften der Böden und des Felses hinsichtlich Aushub, Transport, Auftrag und Verdichtung abdecken.

prEN 16907-2:2015 dieser Norm enthält Regeln zur Beschreibung und Klassifizierung von Böden und Fels sowie sonstigen Materialien, die für Erdarbeiten verwendet werden.

ANMERKUNG Aufgrund der schwankenden Untergrund- und Klimabedingungen innerhalb von Europa sowie der unterschiedlichen nationalen Vertragsbedingungen, wurden nationale Regeln in mehreren Europäischen Ländern festgesetzt, 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 C bis H in diesem Dokument enthalten Beispiele für nationale Verfahrensweisen, die diesen Regeln folgen.

Teil 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 usw.;
- Klassifizierung durch Parameter „inhärenter Eigenschaften“, wobei es sich um Materialeigenschaften handelt, die von den Zustandsbedingungen während des Baus unabhängig sind, z. B. Korngröße, Stufung oder Plastizität. Es werden Laborprüfungen durchgeführt, um die Materialien in Gruppen mit ähnlichen Eigenschaften einzuordnen, z. B. Verhalten in einem Erdbauwerk nach der Verdichtung. Die Gruppen sollten für Kundenspezifikationen verwendet werden;
- zusätzliche Klassifizierung auf der Grundlage von Parametern der „Zustandseigenschaften“, 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. Aushub, Transport, Behandlung, Einbringung und Verdichtung, oder mit ihrer Verwendung in Elementen eines Erdbauwerks (Schüttmaterial, Deckschicht usw.).

Wie in Abschnitt 6 dieser Europäischen Norm (Teil 1) angegeben, beruht die Bemessung von Erdarbeiten entweder auf Erfahrungen oder auf Vorabprüfungen im Originalmaßstab.

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-Prüfungen im Originalmaßstab werden zur Prüfung neuer Materialien oder von Ausrüstungen angewendet, oder wenn bessere Abläufe als die vorhandenen erwartet werden. Dabei werden keine ausgearbeiteten Klassifizierungssysteme eingesetzt, jedoch werden die Beschreibung der Baugrundmasse und die Identifizierung der Materialien benötigt, um ihre Beschreibung zu ermöglichen.

Die Normen für Prüfungen, die zur Identifizierung und Klassifizierung angewendet werden sollten, sind in Teil 2 aufgeführt. Diese Prüfnormen sollten vorzugsweise angewendet werden.

6 Bemessung von Erdarbeiten für Erddämme

6.1 Einleitung

Das Erdbauprojekt legt die Ausführungsverfahren fest (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 Schüttmaterial, Qualitätskontrolle), um Ergebnisse zu erzielen, die die Anforderungen (oder Annahmen) des Erdbauwerk-Projektes erfüllen.

Da Erdarbeiten häufig über die Dichte der verdichteten Schüttung gesteuert werden, ist es erforderlich, die Dichte mit den mechanischen Eigenschaften des zu errichtenden Erddamms hinsichtlich Standfestigkeit (d. h. Scherfestigkeit), Verformungen (d. h. Verformbarkeit) und Wasserdichtheit (d. h. Durchlässigkeit) zu verbinden. Die Dauerhaftigkeit und Langzeit-Standfestigkeit des fertig gestellten Baukörpers aus Schüttmaterial sollte ausdrücklich betrachtet werden, wenn die Anforderungen an die Dichte festgelegt werden.

Der Bemessungsvorgang schließt somit gewöhnlich Folgendes ein:

- Bewertung der Art und der Materialeigenschaften der verfügbaren Böden, des Felses, der Nebenprodukte oder wiederaufbereiteten Materialien;
- Bewertung der geforderten Eigenschaften der verdichteten Schüttmaterialien, und wie diese erreicht werden können;
- Festlegung des Bauprozesses unter Berücksichtigung der Art der Arbeiten (Aushub, Verdichtung usw.), der zur Verfügung stehenden Ausrüstung, der Art und des Anfangszustands des Bodens/Felses, des Klimas und des gewünschten Endzustands;
- Optimierung des Erdbauprojekts hinsichtlich der Anwendung von Ausrüstungen, der Einschränkung des Transports, des Schutzes der Umwelt, einer nachhaltigen Entwicklung, der Kosten, der Dauer der Arbeiten usw.;
- Identifizierung der geeigneten Form zur Validierung der Arbeiten (Prüfungs- und Überwachungsverfahren sowie Häufigkeit von Prüfungen während des Baus) (prEN 16907-5).

Bei Erddämmen hängt das Verdichtungsverfahren (Anzahl und Dicke der Schichten, Verdichtungs-ausrüstungen und Energie) vom verfügbaren Schüttmaterial, den klimatischen Bedingungen sowie den geforderten Endeigenschaften des fertigen Erddamms ab. Es kann eine Verbesserung des Schüttmaterials mittels verschiedener Verfahren erforderlich sein (Belüftung, Befeuchtung, Vermischung mit weiteren Materialien, Einsatz von Bindemitteln).

Aufgrund der Schwierigkeit, aus Laborprüfungen das optimale Bauverfahren für einen bestimmten Baugrund zu extrapolieren, sind Verdichtungsversuche im Originalmaßstab ein wertvolles Referenzwerkzeug für die Bewertung der Leistungsfähigkeit jedes möglichen Verfahrens. Die aus diesen Prüfungen und Erdbauprojekten über Jahre gewonnenen Erfahrungen wurden zu „Klassifizierungen“ (prEN 16907-2) zusammengeführt, die den Planern von Erdarbeiten 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, der nicht modelliert werden kann, um alle Schwierigkeiten des Bauprozesses widerzuspiegeln. Daher besteht der technische Ansatz darin, eine Mischung aus Laborprüfungen und Verdichtungsversuchen im Originalmaßstab einschließlich Vor-Ort-Prüfungen anzuwenden. Im Falle von Felsbruch-Schüttungen sind Labor- und Verdichtungsprüfungen noch schwieriger und die Bemessungsentscheidungen beruhen fast gänzlich auf technischen Beurteilungen und auf Erfahrungen mit bestimmten Quellen von Fels-Schüttmaterial.

6.2 Bemessungsverfahren

6.2.1 Allgemeines

In dieser Europäischen Norm wird der Sammelbegriff „Erddamm“ verwendet, um ein beliebiges Erdbauwerk zu beschreiben, das durch das Einbringen von Schüttungen gebildet wird. Der Begriff Erddamm behandelt daher den Bau erhöhter Erdbauwerke (die traditionell als Erddämme beschrieben werden), das Verfüllen großer Aushübe wie z. B. stillgelegter Steinbrüche, und Erdbauwerke, die durch Nassbaggern hergestellt werden.

Erddämme werden mit anerkannten Erdbauverfahren gebaut, um hinsichtlich Festigkeit, Verformbarkeit, Durchlässigkeit und Dauerhaftigkeit ein vorgeschriebenes Verhalten zu erreichen:

- a) Aufteilung von Schüttmaterial in Schichten und anschließende Verdichtung (prEN 16907-3 und -4);
- b) Einbringen von grobkörnigen Materialien wie z. B. Felsblöcken (prEN 16907-3);
- c) hydraulisches Einbringen von Schüttmaterial (prEN 16907- 6 und 7).

In den vorgenannten Fällen a) und b) dürfen die Eigenschaften des fertigen Erddamms durch Unterteilung des Erddamms in Zonen erzielt werden (6.2.2), wobei an jede Zone unterschiedliche Anforderungen gestellt werden. Die Spezifikationen für jede Zone sind Teil des Erdbauwerk-Projektes. Das Erdbauprojekt legt fest, welches die beste Möglichkeit ist, diese Spezifikationen zu erfüllen.

6.2.2 Erddammzonen

6.2.2.1 Allgemeines

Der Querschnitt eines Erddamms kann entweder homogen sein oder bei Bedarf in verschiedene Zonen aufgeteilt werden. Jede Zone ist dann in Bezug auf ihre Geometrie und Qualität, Dichte und sonstige mechanische, physikalische und chemische Eigenschaften des verdichteten Materials festzulegen.

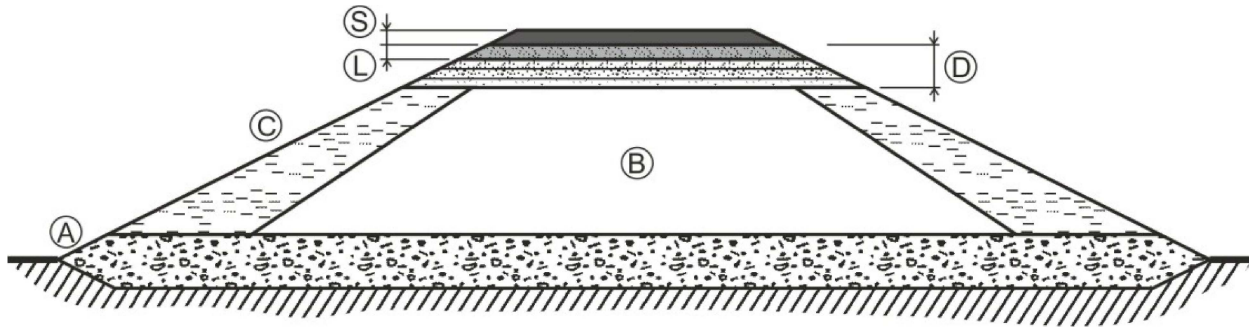
6.2.2.2 Erddämme für die Infrastruktur

Der Querschnitt von Erddämmen für die Infrastruktur (für Schnellstraßen, Schienenwege, Wasserwege, Hochwasserschutzanlagen, Deiche oder Dämme) darf in die folgenden Zonen unterteilt werden (siehe Bild 1):

- **Sohle (A):** Erddammzone in direktem Kontakt mit dem vorhandenen Boden. Diese Zone darf in Schichten unterteilt werden, z. B. für Drainage, 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):** Erddammzone, die sich zwischen den Sohlenschichten und der Krone befindet. Damit diese Zone vorhanden ist, ist eine Mindest-Erddammhöhe erforderlich. Der Kern kann vor Wasser geschützt oder gedämmt werden, um die Verschmutzung der Umwelt zu begrenzen;
- **Schultern (C):** seitliche Zonen von Erddämmen. Diese Zonen können verschiedene Funktionen haben, z. B. steilere Böschungen ermöglichen, den Kern schützen, als Filter dienen, vor Erosion schützen;

- **Krone (D)**: Zone, die sich zwischen dem Kern und dem Oberbau (Fahrbahn, Schienengleis) befindet. Diese Zone darf aus verschiedenen Schichten bestehen, z. B. der „obere Teil der Aufschüttung“, die „Deckschicht“, eine „Übergangsschicht“ zur Trennung einer Felsbruch-Schüttung von den oberen Kornschichten, eine undurchlässige Schicht usw. Sie schließt nicht die Schichten des Oberbaus mit ein.

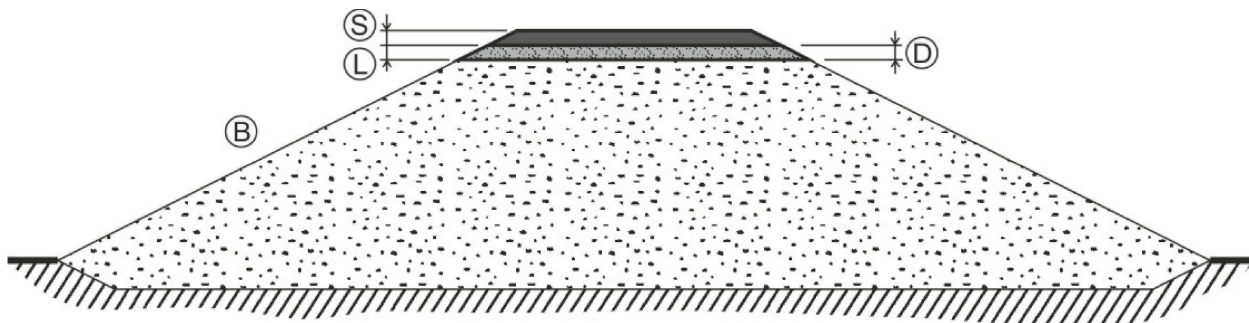
Die Materialien in den Zonen A, B, C und D dürfen gleich sein (Bild 2).



Legende

- A Sohle
- B Kern
- C Schultern
- D Krone
- L Deckschicht (Teil der Krone)
- S Oberbau (Fahrbahn/Schienengleis)

Bild 1 — Zonen eines Erddamms für Infrastruktur: allgemeiner Fall



Legende

- B Kern
- D Krone
- L Deckschicht (Teil der Krone)
- S Oberbau (Fahrbahn/Schienengleis)

Bild 2 — Zonen eines homogenen Erddamms für Infrastruktur

Die Abmessungen der verschiedenen Zonen und die Eigenschaften ihrer Materialien sind so zu wählen, dass die Anforderungen an das Gesamt-Bauprojekt erfüllt werden. Das Bauprojekt legt das geforderte Verhalten des endgültigen Erdbauwerks hinsichtlich der Verformbarkeit, Standsicherheit, Tragfähigkeit, Durchlässigkeit und Dauerhaftigkeit fest. Die vorliegende Norm geht davon aus, dass die Funktionen jeder Zone unter hinreichender Berücksichtigung der Möglichkeiten festgelegt werden, die von den vor Ort verfügbaren Materialien geboten werden.

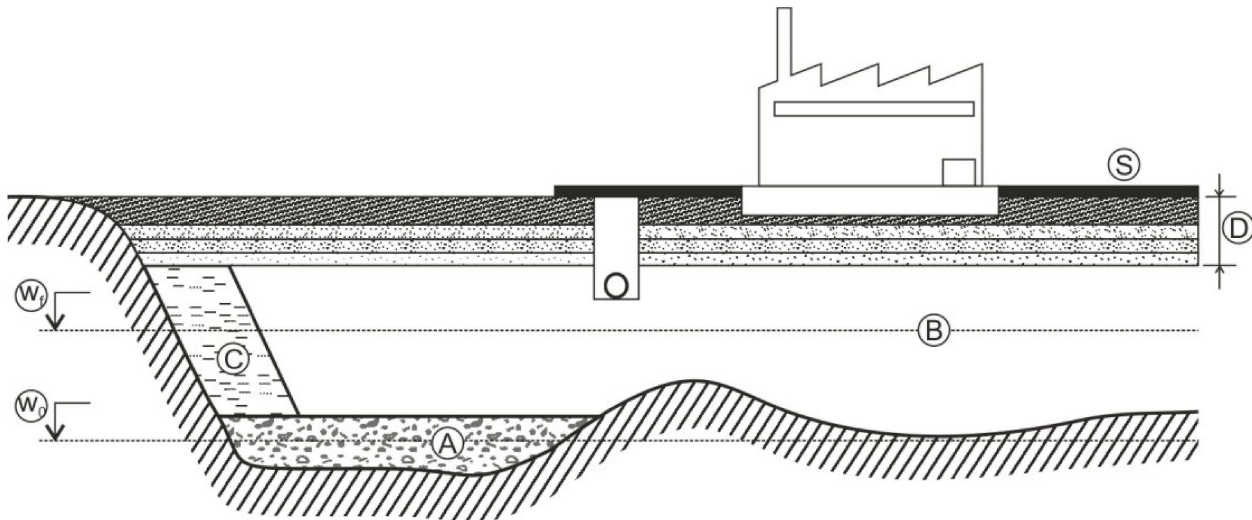
Bei der Bemessung der verschiedenen Zonen sind alle Aspekte zu berücksichtigen, die für das Projekt maßgebend sind, einschließlich der folgenden:

- das Potenzial für eine Setzung unter oder Volumenänderungen innerhalb des Erddamms nach dem Bau
- Materialien, die gegenüber Wasser empfindlich sind, sollten geschützt werden;
- verunreinigte Materialien sollten isoliert werden, um ein Auswaschen von Schadstoffen zu vermeiden;
- Materialien, die empfindlich gegenüber chemischen Eigenschaften des darunter liegenden Bodens sind, sollten damit nicht in Berührung kommen (Untergrundschicht);
- die Geometrie der Zonen muss das Bauverfahren berücksichtigen (Kern und Seitenzonen).

6.2.2.3 Verfüllung großer Aushübe und natürliche Absenkungen

Erddämme zur Verfüllung großer Aushübe oder Absenkungen dürfen in dieselben Zonen unterteilt werden wie bei Erddämmen für die Infrastruktur (Bild 3). Zusätzlich zu den in 6.2.2.2 aufgeführten Vorkehrungen muss berücksichtigt werden, dass möglicherweise ein schwankender Wasserspiegel vorhanden ist, wenn diese Erdarbeiten bemessen werden.

Der Erdbauwerk-Planer 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). Im Falle von lockerem gleichmäßigem 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 Schüttmaterials 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 Schüttmaterial gestellt werden, das für einen Infrastruktur-Erddamm verwendet wird, und in einigen Fällen kann es auch notwendig werden, die Arten des Schüttmaterials, das genutzt werden kann, einzuschränken, um die Bewegungen innerhalb des Erdbauwerk-Körpers selbst zu begrenzen.



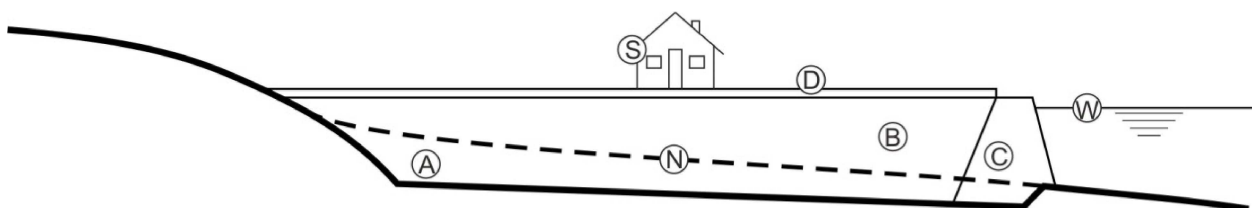
Legende

- A Sohle
- B Kern
- C Schultern
- D Krone
- S Oberbau
- W_0 Wasserspiegel zu Beginn der Arbeiten
- W_f Wasserspiegel am Ende der Arbeiten

Bild 3 — Zonen eines Erddamms in einem Aushub oder einer Absenkung: allgemeiner Fall

6.2.2.4 Landgewinnung mit nassgebagertem Auffüllmaterial

Landgewinne, die durch hydraulisches Einbringen von nassgebagertem Material entstehen, werden üblicherweise in ähnliche Zonen unterteilt wie in 6.2.2.2 und 6.2.2.3 beschrieben (Bild 4). Der Kern ist die Hauptzone derartiger Schüttungen. Die Sohle besteht aus dem natürlichen Meeres-, See- oder Flussboden, der bei Bedarf gereinigt wird, um verdichtbare Ablagerungen zu beseitigen. Seitliche Dammkonstruktionen oder Deiche begrenzen den Umfang der Verfüllung, verhindern den Austritt hydraulischen Auffüllmaterials in die Umwelt und ermöglichen den Bau steilerer Böschungen. Die Krone enthält alle Übergangsschichten zum Oberbau.



Legende

- A Sohle (hydraulisches Auffüllmaterial nach dem Baggern um verdichtbare Böden zu entfernen)
- B Kern (hydraulisches Auffüllmaterial)
- C Damm (Deich)
- D Krone
- N ursprüngliches Bodenniveau vor dem Baggern
- S Oberbau
- W Wasseroberfläche

Bild 4 — Zonen einer hydraulischen Auffüllung zur Landgewinnung

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

- das Vorhandensein feinkörniger Anteile, die in das umgebende Wasser strömen dürfen oder nicht strömen dürfen;
- die Notwendigkeit, verunreinigte Materialien zu isolieren, um ein Auswaschen von Schadstoffen zu vermeiden;
- die Geometrie der ausgebagerten und aufgeschütteten Zone.

Die Möglichkeit, die geforderten Endeigenschaften des Erddamms zu erreichen, kann von Verfahren zur Verbesserung des Untergrunds abhängen, die von dieser Europäischen Norm nicht behandelt werden.

6.2.2.5 Gebäude und Bauwerke auf Aufschüttungen

Der Planer muss die Art jedes Erdbauwerks und den vorgesehenen Verwendungszweck berücksichtigen; Wenn auf oder innerhalb des Erdbauwerks Gebäude und Bauwerke gebaut werden sollen, ist die Empfindlichkeit gegenüber der Gesamtsetzung und Setzungsunterschieden besonderes zu berücksichtigen. Der Planer der Erdarbeiten muss alle Aspekte betrachten, die sich auf die auf oder innerhalb des Erddamms zu errichtenden Bauwerke auswirken könnten, einschließlich:

- die Setzung von Flachfundamenten;
- negative Mantelreibung an Pfählen oder Schäften durch den Erddamm; und
- seitlicher Druck aufgrund der Verdichtung auf unmittelbar benachbarte Bauwerke (wie z. B. Brückenpfeiler und Stützwände).

Es sollte auch das annehmbare Ausmaß einer Setzung durch das Eigengewicht innerhalb des Schüttmaterialkörpers während und nach dem Bau berücksichtigt werden (einschließlich der Gefahr eines Einsturzes bei einer in 6.2.2.3 beschriebenen Überschwemmung mit Wasser). Bei unterhalb liegenden Bereichen des Erdbauwerks, für die es genaue Grenzabweichungen für die Setzung gibt, muss der Planer Folgendes genau berücksichtigen: die Tiefe des Schüttmaterials, die zulässigen Schüttmaterialien, die genutzt werden dürfen, die bei diesen Schüttmaterialien aufzubringende Verdichtungsleistung und die geforderten Endeigenschaften des Schüttmaterials.

Die geforderten Eigenschaften des Schüttmaterials sollten hinsichtlich der Dichte und der Luftporen der verdichteten Aufschüttung sowie der Steifigkeit der Aufschüttung unmittelbar nach der Verdichtung berücksichtigt werden. Die geforderte Steifigkeit erfordert oftmals die Erreichung eines höheren Gesamtverdichtungsgrades als bei einem traditionellen Erddamm für die Infrastruktur, bei dem die Einbringung der Aufschüttung bei einem relativ geringen Wassergehalt bevorzugt wird. Dennoch sollte der Planer der Erdarbeiten sicherstellen, dass der Wassergehalt zum Zeitpunkt der Schüttung und die geforderte Verdichtungsleistung ausreichen, um sicherzustellen, dass durch die verdichtete Aufschüttung unannehmbare Änderungen nach dem Bau vermieden werden (6.3.3).

6.3 Wahl der Eigenschaften des Schüttmaterials und des Verdichtungsprozesses

6.3.1 Allgemeines

Die Bemessung des Schüttmaterials für Erdarbeiten umfasst die Identifizierung des Schüttmaterials, das für den Bau eines Erdbauwerks geeignet ist, sowie die Bestimmung der geeigneten Eigenschaften des Schüttmaterials und des Verdichtungsprozesses, um sicherzustellen, dass die Anforderungen an das fertig gestellte Erdbauwerk erfüllt werden können. Dieser Unterabschnitt 6.3.3 beschreibt die Probleme, die bei der Bemessung des Schüttmaterials für Erdarbeiten zu behandeln sind.

Aus wirtschaftlichen, umweltbezogenen und praktischen Gründen sind die Schüttmaterialien, die zum Bau eines Erdbauwerks verwendet werden, üblicherweise diejenigen Materialien, die zum Abbau aus Einschnitten oder Entnahmegruben entweder am oder in der Nähe des Projektstandorts zur Verfügung stehen. 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 Schüttmaterialien mit bestimmten Eigenschaften erforderlich sind, die nicht am Standort zur Verfügung stehen, dann müssen für das Projekt Schüttmaterialien importiert werden. In jedem dieser Fälle muss der Planer der Erdarbeiten das Schüttmaterial bewerten, um festzustellen, ob die geforderten Eigenschaften der Aufschüttung in Abhängigkeit von einem geeigneten Schütt- und Verdichtungsprozess erzielt werden können.

Schüttmaterialien werden anfänglich auf der Grundlage einer Klassifizierung nach inhärenten Eigenschaften wie Korngrößenstufung, Plastizitätsindex, Chemie usw. als potentiell für die Verwendung für Erdarbeiten geeignet bewertet. Der Bemessungsprozess zur Auswahl des annehmbaren Bereiches von Materialeigenschaften für ein bestimmtes Schüttmaterial erfolgt dann auf der Grundlage der Ergebnisse von Labor-Verdichtungsprüfungen (außer bei Aufschüttungen, die für die Durchführung der Prüfungen zu grobkörnig sind). Bei Bodenaufschüttungen beziehen sich die annehmbaren Materialeigenschaften gewöhnlich entweder auf den Wassergehalt oder auf die Scherfestigkeit (oder auf eine Prüfung der Erdarbeiten, die diese Eigenschaften betrifft).

Der Gesamtprozess der Bemessung von Aufschüttungen für Erdarbeiten umfasst die Erkennung einer Möglichkeit, die verfügbaren natürlichen oder wiederaufbereiteten Materialien als Schüttmaterial zu nutzen, so dass die Anforderungen an das Erdbauwerk erfüllt werden. Der Erfolg dieses Prozesses hängt von verschiedenen Maßnahmen ab: Materialbewertung, Festlegung der Spezifikation der Erdarbeiten, Wahl der Bauausrüstungen, Wahl des Bauprozesses und Qualitätskontrolle während des Baus. Diese Maßnahmen können bei einem einzigen Projekt von verschiedenen Organisationen durchgeführt werden (Auftraggeber, Ingenieur und Auftragnehmer), wobei in diesem Fall Klarheit darüber bestehen sollte, wer bezüglich eines bestimmten Aspektes die Führungsrolle innehat, da alle Vertragspartner einen bestimmten Einfluss auf die Bemessung der Erdarbeiten haben. Diese Norm gilt für alle Vertragspartner, die am Prozess der Bemessung von Aufschüttungen für Erdarbeiten beteiligt sind. Die Festlegung geeigneter Eigenschaften der Aufschüttung sowie des Bauprozesses sollte während der Vorbereitungsphase des Projektes bewertet werden (d. h. vor Beginn der Errichtung des Erdbauwerks), doch die Art von Erdbauprojekten schreibt häufig vor, dass die Bemessung während der Bauphase angepasst werden muss, um auf die natürliche Schwankung der vorhandenen Materialien einzugehen. Folglich werden in prEN 16907-3,-4,-5,-6 und -7 dieser Norm weitere Einzelheiten zu bemessungsrelevanten Aspekten bereitgestellt, da die Bemessung von Erdarbeiten sich in der Ausführungsphase fortsetzt.

Der Bemessungsprozess kann als Gesamtsystem betrachtet werden, das die Eingabe verschiedener am Projekt Beteiligter erfordert, und umfasst die folgenden drei allgemeinen Phasen der Tätigkeit: (Verweisungen auf Teile der prEN 16907-Reihe, die sich auf den jeweiligen Punkt beziehen, sind in Klammern angegeben):

Allgemeine Bemessung von Aufschüttungen, Phase 1 – Bewertung der verfügbaren Materialien, was Folgendes einschließt:

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

Allgemeine Bemessung von Aufschüttungen, Phase 2 – Bewertung des Verhaltens von Aufschüttungen und Einschränkungen für die Verwendung jedes Schüttmaterials, was Folgendes einschließt:

- Feststellung 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 Schüttmaterial (siehe prEN 16907-2 oder prEN 16907-1, informative Anhänge C bis H);
- Bewertung des Verdichtungsverhaltens der Schüttmaterialien (siehe Teile prEN 16907-1, -3, -4, -6 und -7);
- Ermittlung des annehmbaren Wassergehalts und des Dichtebereichs, um die geforderten Leistungskriterien für das Erdbauwerk zu erfüllen (siehe prEN 16907-1);
- Festlegung der Anforderungen an die Erdbauspezifikation für das Projekt (siehe prEN 16907-1).

Allgemeine Bemessung von Aufschüttungen, Phase 3 – Auswahl geeigneter Kontrollen für die Durchführung der Erdbauarbeiten, was Folgendes einschließt:

- Berücksichtigung der geeignetsten Bauverfahren und Bauausrüstungen (siehe prEN 16907-3, -4, -6 und -7);
- Ermittlung der geeignetsten Form der Qualitätskontrolle/Qualitätssicherung (prEN 16907-5);
- Bestätigung der Eignung der Bemessung der Aufschüttung durch einen Vor-Ort-Versuch oder eine Prüfung der Arbeiten, und erforderlichenfalls Klarstellung (prEN 16907-1).

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 berücksichtigt wird. Daher wird es zusammenfassend als sinnvoll erachtet, dass der Prozess der Bemessung von Erdarbeiten jede dieser allgemeinen Phasen zur Bemessung von Aufschüttungen behandeln sollte. Bei vielen Projekten wird für verschiedene Erdbauwerke oder Zonen eines Erdbauwerks eine verschiedene 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 Bemessung von Erdarbeiten. Die Ermittlung umfasst die Beschreibung der Art von Böden und Fels. Dabei sind einige der folgenden inhärenten Eigenschaften eingeschlossen: Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Gehalt an Carbonaten, Sulfaten, organischen Bestandteilen, Plastizitätsgrenzwerte und Fließgrenze, Methylenblau-Wert für Böden, Los-Angeles-Index, dynamische Zerteilung, Zerreibbarkeit, Abbaubarkeit, Brechbarkeit, Frostbeständigkeit für Fels, sowie spezielle Prüfungen für sonstige Materialien. Diese Angaben werden zur Klassifizierung der Materialien verwendet (prEN 16907-2).

6.3.3 Kriterien für die Bewertung von verdichtetem Schüttmaterial

Die vom Erdbauwerk zu erfüllenden Anforderungen werden entweder vom Auftraggeber oder als ein Ergebnis der geotechnischen oder bautechnischen Bemessung festgelegt. Beispielsweise könnte das zu einer geforderten Endleistung führen, die sich auf die Steifigkeit der fertigen Baugrundebene sowie auf Begrenzungen der zulässigen Setzung unterhalb einer festgelegten belasteten Fläche bezieht.

Bei der Bemessung 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 Schüttmaterialien und der Endverwendung des Erddamms, und können einige oder alle der folgenden Punkte einschließen:

- Kriterien in Bezug auf den fertigen Erddamm:
 - Mindestwert des vertikalen Verformungsmoduls;
 - Mindestwert der Tragfähigkeit;
 - Höchst- oder Mindestwert der Durchlässigkeit, sofern gefordert;
- Kriterien in Bezug auf die Bauphasen:
 - Befahrbarkeit (für eine einfache Ausführung der Arbeiten);
 - keine Matratzenbildung oder Abtrennung von Schichten oder Rissbildung aufgrund von Austrocknung (für die Verdichtungsqualität/das Arbeitsverfahren);
- Kriterien in Bezug auf die Dauerhaftigkeit:
 - Langzeitstandfestigkeit der verdichteten Aufschüttung, insbesondere Beständigkeit gegen Änderungen des Wassergehaltes (keine Sackung, keine Hebungen, keine Setzung);
 - Frostbeständigkeit;
 - Abbaubarkeit.

Die vorgenannten Anforderungen sind in Anforderungen umzuwandeln, die an mögliche Schüttmaterialien und den möglichen Bauprozess gestellt werden (Verdichtungsverfahren und möglicherweise Behandlung der Materialien).

Meist wird die Verdichtbarkeit der möglichen Schüttmaterialien zuerst bewertet, unter Anwendung genormter Labor-Verdichtungsprüfungen, sofern diese durchgeführt werden können (typische Ausnahmen sind Aufschüttungen aus Blöcken oder sehr grobkörnigen Materialien). Der Planer muss Bewertungen durchführen, wobei anzuerkennen ist, dass die Ergebnisse von Labor-Verdichtungsprüfungen nur einen Hinweis auf die Reaktion einer Aufschüttung auf eine standardmäßige Verdichtungsleistung liefern. Es kann vorteilhaft sein, sowohl Standard-Proctorprüfungen als auch modifizierte Proctorprüfungen zur Klarstellung der Reaktion des Materials auf Schwankungen der Verdichtungsleistung durchzuführen. Die mechanischen Eigenschaften und die Dauerhaftigkeit des verdichteten Schüttmaterials innerhalb des Erddamms sollten für einen bestimmten Verdichtungsprozess durch Verdichtungsprüfungen im Originalmaßstab oder durch Vor-Ort-Prüfungen der Anfangsschichten des Erddamms überprüft werden (für Dichte-, Steifigkeits-, Verformbarkeits-, Festigkeits- oder Durchlässigkeitsmessungen). Das kann für ein bestimmtes Erdbauprojekt durchgeführt oder auf nationaler oder internationaler Ebene organisiert werden, damit auf Erfahrungen beruhende Regeln aufgestellt werden, die in der Bemessungsphase oder bei laufenden Arbeiten angewendet werden können.

Diese Prüfungen oder auf Erfahrungen beruhenden Regeln sind die Bedingung, damit zur Angabe des gewünschten Zustands des Schüttmaterials nach der Verdichtung gegebenenfalls die Verwendung der Trockendichte empfohlen werden kann.

6.3.4 Verdichtungsverhalten von Schüttmaterialien

Die Bewertung der Verdichtbarkeit jedes verfügbaren Schüttmaterials ist die nächste Stufe des Verfahrens. Wenn das Verhalten des Schüttmaterials hauptsächlich von feinkörnigen Böden abhängt, so ist das betreffende Material im Labor zu prüfen. In allen anderen Fällen werden Verdichtungsprüfungen im Originalmaßstab empfohlen (Anhang A). Die Labor-Verdichtungsprüfungen sind an Böden zur Verwendung als Schüttmaterial durchzuführen, um die Trockendichte zu ermitteln, die wahrscheinlich zu erreichen ist, wenn ein Boden mit einem bestimmten Wassergehalt unter Aufbringung einer Standard-Verdichtungsleistung verdichtet wird. Bodenproben werden über einen Bereich von Wassergehalten geprüft, um die maximale Trockendichte und den optimalen Wassergehalt für die aufgebrachte Verdichtungsleistung zu ermitteln. Für Boden-Schüttmaterialien werden am häufigsten zwei Prüfverfahren angewendet, die Standard-Proctorprüfung und die modifizierte Proctorprüfung, die sich hinsichtlich der aufgetragenen Verdichtungsenergie voneinander unterscheiden.

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 Standard- und modifizierten Proctor-Laborprüfungen an einer einzigen Bodenart dargestellt. Die größere Verdichtungsleistung bei den Ergebnissen der modifizierten Proctorprüfung führt zu einem geringeren optimalen Wassergehalt und zu einer höheren maximalen Trockendichte; die zu beachtende Ausnahme ist dabei gleichmäßig gestufter Sand oder Feinkies, bei denen sich die Erhöhung der Verdichtungsleistung nur begrenzt auswirkt.

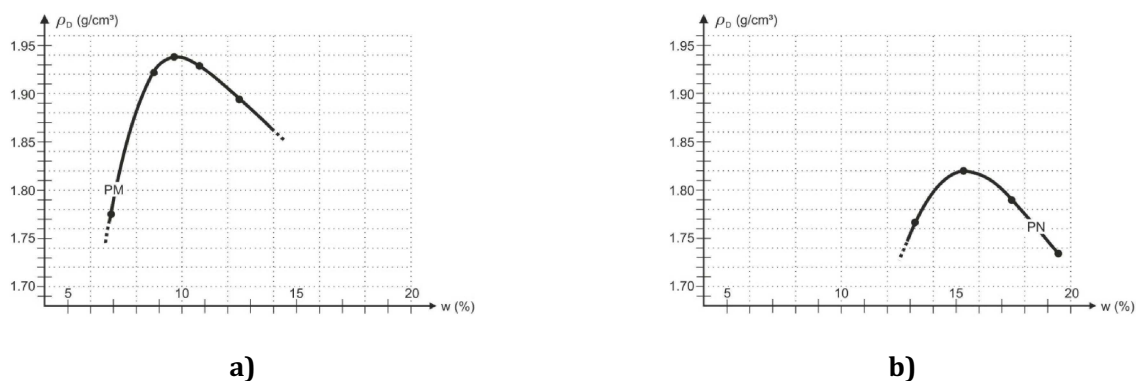


Bild 5 — Beispiele für die Prüfergebnisse einer a) Standard-Proctorprüfung und b) einer modifizierten Proctorprüfung

Wenn beide Prüfungen an einer bestimmten Bodenart durchgeführt werden, sollte der Planer der Erdarbeiten die Ergebnisdaten der Laborprüfungen in einem gemeinsamen Diagramm darstellen, um die Bewertung des geeigneten Wassergehaltbereichs zur Verdichtung der Aufschüttung und der Zieltrockendichte zu unterstützen, die durch Verdichtung des Baugrunds erreicht werden sollte.

Der Zustand des Schüttmaterials sollte durch grafische Darstellung des Luftporengehalts oder der Sättigungsgradlinien für die Aufschüttung verdeutlicht werden. Dazu muss die spezifische Dichte des Materials entweder durch eine Laborprüfung 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. Der annehmbare Wassergehaltbereich kann auf der Grundlage einer unteren und einer oberen Annehmbarkeitsgrenze festgelegt werden, wie in Bild 6 dargestellt.

Viele Schüttmaterialien, die auffallend trocken verdichtet wurden, mit optimalem Wassergehalt und einem hohen Luftporengehalt sind nach der Verdichtung empfänglich für Volumenänderungen als Reaktion auf Änderungen des Wassergehalts. Das wahrscheinliche Verhalten nach der Verdichtung hängt von verschiedenen Faktoren ab, einschließlich: Körnung des Schüttmaterials, Wassergehalt zum Zeitpunkt der Schüttung in Bezug zum optimalen Wassergehalt, Plastizität, Mineralogie, geostatischer Druck innerhalb des fertigen Erdbauwerks, und bei Schüttungen, die aus Tonstücken bestehen, der Grad der Überverfestigung. Die Faktoren, die für den jeweiligen Boden maßgebend sind, sollten ermittelt werden, und das Potenzial für Änderungen nach der Verdichtung ist vom Planer zu bewerten.

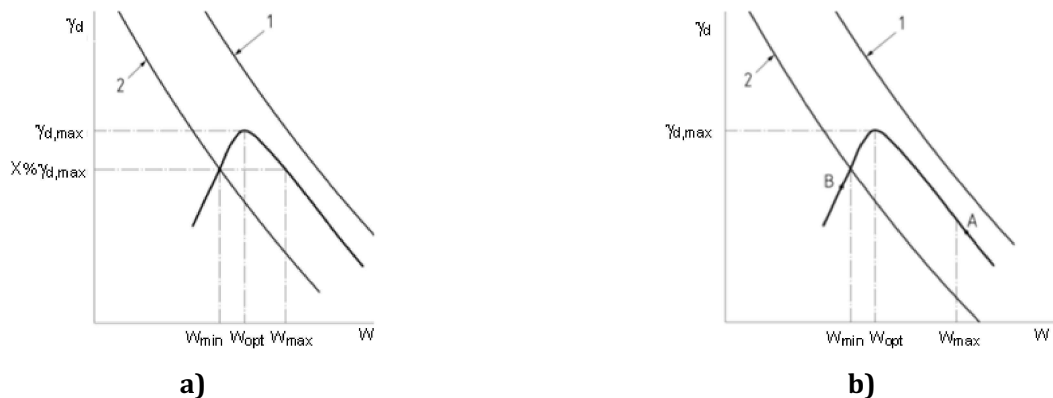
Das Ziel der Bemessung von Aufschüttungen für Erdarbeiten ist die Festlegung einer Zone mit einem annehmbaren Wassergehalt, die zu einer zufrieden stellenden Verdichtung führt (Bild 6). Die Kriterien werden gewöhnlich in Bezug auf einen Mindestwert für die annehmbare Enddichte festgelegt, oftmals in Kombination mit dem Höchstwert für das annehmbare endgültige Luftpaltverhältnis (oder Sättigungsgrad), sowie die unteren und oberen Annehmbarkeitsgrenzwerte für den Wassergehalt, um annehmbare mechanische Eigenschaften zu erreichen und Änderungen nach der Verdichtung auf ein Mindestmaß zu verringern. Die festgelegten Kriterien ermöglichen die Vorbereitung der Spezifikation der Erdarbeiten (siehe Abschnitt 12).

Grobkörnige Schüttmaterialien sich verhältnismäßig leicht zu bewerten, siehe Bild 6a:

- obere Annehmbarkeitsgrenze – üblicherweise festgelegt auf der Grundlage eines geforderten prozentualen Anteils der maximalen Trockendichte, möglicherweise ist es auch erforderlich, das Potenzial für eine Überverdichtung zu betrachten, die zu übermäßig hohen Porenwasserdrücken und zur Matratzenbildung führt;
- untere Annehmbarkeitsgrenze – es ist zu überprüfen, ob die Kriterien für die Dichte auf der Grundlage von Luftporen weiter eingeschränkt werden müssen, um langfristig das Risiko einer Zweitsetzung zu vermeiden.

Bei feinkörnigen (bindigen) Schüttmaterialien (Bild 6b) sollte der Planer Folgendes bei der Bewertung der Annehmbarkeitsgrenzen in Bezug auf den Wassergehalt besonders berücksichtigen:

- obere Annehmbarkeitsgrenze – 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);
- untere Annehmbarkeitsgrenze – 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	Luftporenlinie (a %)	w_{min}	untere Annehmbarkeitsgrenze
w	Wassergehalt (%)	w_{max}	obere Annehmbarkeitsgrenze
γ_d	Trockenwichte (kN/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 Schüttmaterial, das aufgrund seiner Verwendung in der Vergangenheit gut bekannt ist, in einem Erdbau-Szenarium angewendet wird, das gängige Praxis ist, kann die Bewertung der Bemessung auf Laborprüfungen aufbauen, die die Charakterisierung betreffen, sowie auf den Ergebnissen der Verdichtungsprüfungen. In diesem Fall kann die Bemessung auf der Grundlage bewährter nationaler Verfahren und Erfahrungen erfolgen, wobei möglichst empirische Zusammenhänge zwischen den Klassifikationseigenschaften des Bodens und mechanischen Eigenschaften wie der wahrscheinlichen Festigkeit oder Steifigkeit der verdichteten Schüttung zu nutzen sind. Wenn die Schüttung jedoch in einem Szenarium verwendet werden soll, das nicht zum gängigen Erfahrungsbereich gehört, sollte das Verhalten der Schüttung mittels Zusammenhangsprüfungen im Labor geklärt werden (siehe 6.3.5).

Spezielle Informationen darüber, wie diese Probleme bei konkreten Schüttmaterialarten behandelt werden, sowie ähnliche Beispiele auf der Grundlage von Sättigungslinien, sind in prEN 16907-3 sowie in den Anhängen B bis H dieses Teils enthalten, die nationale Verfahrensweisen beschreiben.

6.3.5 Zusammenhangsprüfung zur Bewertung der Leistungsfähigkeit der Schüttung

Die durch die Verdichtungsprüfung für das jeweilige Schüttmaterial erhaltenen Angaben können zu den mechanischen Eigenschaften der verdichteten Schüttung in Bezug gesetzt werden, indem mit jeder der verdichteten Proben zusätzliche Laborprüfungen durchgeführt werden, ein Prozess, der als „Zusammenhangsprüfung“ bekannt ist. Mit diesem Ansatz kann der Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt der eingebrachten Schüttung und der Festigkeit/Steifigkeit oder Durchlässigkeit des verdichteten Materials bestimmt werden. Zusammenhangsprüfungen können erweitert werden, um die möglichen Änderungen der Festigkeit/Steifigkeit und des Volumens der verdichteten Schüttungsproben infolge einer Erhöhung des Wassergehalts nach der Verdichtung zu bewerten, was mittels Durchführung von CBR-Prüfungen von durchnässtem Boden bewertet werden kann.

Die Ergebnisse der verschiedenen durchgeführten Laborprüfungen sollten vom Planer der Erdarbeiten gemeinsam grafisch dargestellt werden, um den geeigneten Bereich des Wassergehalts der Schüttung und die Trockendichte ermitteln zu können, bei denen die verdichtete Schüttung die für das fertige Erdbauwerk geforderten geotechnischen Bemessungseigenschaften erreicht (oder um festzustellen, ob das jeweilige Schüttmaterial nicht für die betreffende Endanwendung geeignet ist). Dieser Prozess ergänzt die Laborbewertung des möglichen Schüttmaterials und ermöglicht es dem Planer, die Spezifikation der Erdarbeiten zu erstellen.

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

6.3.6 Verbindung zwischen dem Bauverfahren und der Bemessung der Erdaufschüttung

Die Erdbaumaschinen, die bei dem Projekt zum Aushub, zur Behandlung, zur Einbringung und Verdichtung des Schüttmaterials verwendet werden, sollten so gewählt werden, dass für die Art der einzubringenden Schüttung und die Baugrundbedingungen sichergestellt ist, dass die Anforderungen an die Verdichtungen erfüllt werden können.

Die Eignung einer bestimmten Ausrüstung zur angemessenen Verdichtung einer bestimmten Schüttung sollte die bisherigen Erfahrungen widerspiegeln und kann mittels Verdichtungsprüfungen im Originalmaßstab bestätigt werden, bei denen die gewählten Boden- oder Felsschüttmaterialien und die gewählten Verdichtungsgeräte zum Einsatz kommen. Diese Prüfungen sollten vor oder bei Beginn der Hauptarbeiten durchgeführt werden und können in die Arbeiten einbezogen werden, sofern sich das als annehmbar erweist.

Während des Baus ist es gängige Praxis zu bestätigen, dass die Bemessung des Schüttmaterials und das beabsichtigte Bauverfahren angemessen sind. Das sollte durch eine Überprüfung der Ergebnisse von vor Ort durchgeführten Prüfungen einer Schüttung erfolgen, die zu Beginn jeder maßgebenden Phase der Erdarbeiten eingebracht und verdichtet wurde (z. B. erstmalige Verwendung eines bestimmten Schüttmaterials oder Bauvorgangs). Wenn die erreichten Ergebnisse der Vor-Ort-Prüfungen und das Bemessungsziel deutlich voneinander abweichen, sollte eine Bewertung durchgeführt werden, ob das Problem auf das Bauverfahren oder auf das Bemessungsziel zurückzuführen ist. Gelegentlich ist es erforderlich, den Entwurf zu ändern, um die verfügbaren Materialien wiederzugeben, da die Bemessung von Erdarbeiten ein iterativer Prozess ist.

6.3.7 Validierung des Verdichtungsvorgangs für ein bestimmtes Schüttmaterial

Die geeignete Form der vor Ort durchzuführenden Übereinstimmungsprüfung zur Kontrolle der Erdarbeiten sollte in der Bemessungsphase des Projektes gewählt werden. Dabei sollten die Durchführbarkeit von Übereinstimmungsprüfungen in Bezug auf die gewählten Annehmbarkeitskriterien und die durch den Vertrag und die Bauabläufe bedingten Einschränkungen berücksichtigt werden (siehe prEN 16907-5 für Einzelheiten).

Das Qualitätskontrollsystem validiert den Verdichtungsvorgang in Bezug auf die Bemessung durch Überprüfung der folgenden Elemente:

- Anfangszustand des Schüttmaterials;
- Grad der Schwankung der Eigenschaften des Schüttmaterials;
- alle Modifizierungen, die an diesem Material vor der Verdichtung vorgenommen werden;
- die Schichtdicke;
- die zur Verdichtung eingesetzten Geräte (Prinzip, Masse, Geschwindigkeit, Schwingungen);
- alle Übereinstimmungsprüfungen des eingebrachten Schüttmaterials, welche eine Bestätigung ermöglichen, dass ein jedes Endprodukt die Anforderungen an die Qualitätssicherung erfüllt;
- Anzahl der bei dem Material angewendeten Verdichtungsübergänge;
- die Verifizierung der Ergebnisse.

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

ANMERKUNG Der informative Anhang A 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 Schüttmaterials sollte anhand der Ergebnisse dieser Prüfungen gewählt werden. 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 eingesetzt wurden.

6.3.8 Bemessung des Erddamm-Querschnitts

Die Bemessung des Querschnitts ist Teil des Erdbauwerk-Projektes. 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.

ANMERKUNG Beispiele für typische Querschnitte von Erddämmen sind in 6.2.1 angegeben.

6.4 Bemessung spezieller Teile von Erddämmen

6.4.1 Einleitung

Zusätzlich zu den in dieser Europäischen Norm beschriebenen allgemeinen Bemessungs- und Bauanforderungen gelten für einige Erdbauwerke oder einige Baugrundbedingungen besondere Anforderungen. Diese können gleichzeitig auftreten. Die häufigsten werden nachfolgend beschrieben.

6.4.2 Deckschichten

Die Deckschicht ist eine Übergangsschicht, die zwischen der Oberschicht einer Schüttung oder der Aushubsohle (Untergrund) und der darüber liegenden Infrastruktur (Straße, Schienenweg) eingebracht werden kann. Diese beabsichtigte Funktion erfordert die Verwendung eines Schüttmaterials von geeigneter Qualität. Die Oberseite der Deckschicht ist „der Unterbau“ oder das Planum.

Deckschichten werden, sofern benötigt, zur Erfüllung von zwei Reihen von Funktionen eingebracht:

Während der Bauarbeiten (kurzfristige Funktionen)

- genaues Nivellieren des Unterbaus, um die Ausführung des Oberbaus zu erleichtern;
- eine Deckschicht führt zu 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 Wettereinwirkungen;
- Sicherstellung guter Verkehrsbedingungen für die Ausrüstungen, die zum Bau des Oberbaus benötigt werden;
- möglicherweise Unterstützung des Baustellenverkehrs für weitere Zwecke.

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

Nach Ende der Bauarbeiten (Langfristige Funktionen)

- 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 kombinierten Kosten für das System aus Deckschicht und Oberbau;
- bietet einen Wärmeschutz für frostempfindliche Böden/Materialien;
- trägt zur Dränage des fertig gestellten Bauwerks bei.

Abhängig von den Standortbedingungen (Bodenart, Klima, hydrogeologische Umgebung, Verkehr usw.) kann die Deckschicht unterschiedlich ausgeprägt sein. Sie kann

- verringert werden oder nicht vorhanden sein, 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, einschließlich z.B. ein Geotextil, eine grobkörnige Materialschicht, eine Schicht zur feinkörnigen Anpassung, eine Kiesschicht, eine mit einem Bindemittel verbesserte Bodenschicht usw. Eine solche Kombination einzelner Schichten darf so bemessen werden, dass eine Deckschicht mit angemessenen Eigenschaften entsteht.

6.4.3 Übergangszonen

6.4.3.1 Einleitung

Erddämme dürfen verschiedene Arten von Übergangszonen aufweisen: längs verlaufende Übergänge für halb eingeschnittene/halb aufgeschüttete Bereiche, Übergänge zwischen Erddämmen und Einschnitten, Übergänge vom Erddamm zu Bauwerken, Wechselwirkungen mit anderen Erdbauwerken, die die üblichen seitlichen Böschungen ersetzen, Wechselwirkungen mit Abzugskanälen oder weiteren Konstruktionen, die den Erddammkern durchqueren.

Für alle Übergangszonen ist eine spezielle Konstruktion erforderlich, die angemessene Änderungen der Steifigkeit und Durchlässigkeit, Lösungen für Abflussprobleme oder sonstige Anforderungen in Abhängigkeit von der Art der Infrastruktur möglich macht.

6.4.3.2 Halb aufgeschüttete/halb eingeschnittene Profile

Diese Art von Übergang liegt vor, wenn ein Querschnitt zwei verschiedene Teile umfasst: eine Aufschüttung und einen Einschnitt (siehe Anhang B für ein Beispiel und die entsprechende Terminologie). Das Profil setzt sich entlang 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.

Es sollte darauf geachtet werden, dass an der Berührungsstelle zwischen Einschnitt und Aufschüttung für eine geeignete Entwässerung gesorgt wird.

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 von der Sohle des Einschnitts zur Oberseite des Erddamms hin vermieden werden.

Übergänge, die vom Einschnitt zum Erddamm hin abfallen, müssen so konstruiert werden, dass das Eindringen von abfließendem Wasser zur 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 sicherzustellen, dass ein schrittweiser Übergang der Tragsteifigkeit erfolgt.

Bei der Festlegung der Übergangszone 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.

Folgende Aspekte sollten beachtet werden:

- 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 prEN 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 einbezogen werden;
- Leichtschüttmaterial (Flugasche, Blähton, EPS-Blöcke usw.), darf zur Verringerung der Setzung und des seitlichen Erddrucks verwendet werden.

6.4.3.5 Spezielle seitliche Konstruktionen

Eine oder beide seitliche Zonen einer Schüttung dürfen für spezielle Zwecke, wie z. B. zum Schutz vor Überschwemmung und Erosion, steilere Böschungen durch spezielle Konstruktionen ersetzt werden. Das Vorhandensein dieser Zonen ist 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

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. Je tiefer die unterquerende Konstruktion verläuft, desto geringer ist ihr Einfluss auf den Oberbau.

- Tiefe unterquerende Konstruktionen: Die relativen Änderungen der Steifigkeit betreffen folgenden Bereich:
 - senkrecht: von der Oberseite der unterquerenden Konstruktion bis zum Oberbau;
 - waagrecht: von der Oberseite der unterquerenden Konstruktion bis zu beiden Seiten;
- der senkrechte Übergang sollte hinsichtlich der Steifigkeit mittels einer oder verschiedenen Schicht/en zu homogenen Lagerbedingungen für den darüber gelegenen Oberbau führen;
- flache unterquerende Konstruktionen: wenn durch vertikale Änderungen der Steifigkeit keine homogenen Lagerbedingungen für den darüber gelegenen Oberbau erreicht werden können, kann die unterquerende Konstruktion unterirdisch verlaufen oder auch nicht. Als erster Ansatz sollte das Problem schwerpunktmäßig ähnlich wie beim Übergang von einem Erddamm zu einem Bauwerk (siehe 5.7.4.4) behandelt werden, d. h. mittels einer speziellen Gestaltung beider Seiten der Konstruktion, aber auch ihrer Oberseite, wenn die Konstruktion unterirdisch verläuft.

6.4.4 Erddämme in Hanglage

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

Die Bemessung dieses Erdbauwerks schließt die Beurteilung der Standsicherheit nach EN 1997-1 ein, sowie eine spezielle Gestaltung, durch welche die Vertiefung des Erddamms 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 dem Erddamm und möglicherweise der Austausch des Bodens durch körniges Material unter dem Erddammfuß sind von größter Bedeutung.

6.4.5 Spezielle Materialien

Für die Bemessung von Erddämmen, die aus bestimmten Arten von Material errichtet werden, sind spezielle Vorschriften erforderlich, die über die gebräuchlichen Festlegungen hinausgehen, die in den meisten Fällen als gültig betrachtet werden.

Die erste Stufe 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 Abfälle aus Industrie- oder Bergbauprozessen handeln, oder selbst um künstlich hergestellte Materialien. Aus dieser Sicht können einige der in dieser Norm enthaltenen allgemeinen Regeln und Grundsätze auf andere Weise angewendet werden oder sogar nicht anwendbar werden. Üblicherweise sind bezüglich Gesundheit, Umwelt und anderer Bereiche spezielle Regeln zu berücksichtigen.

Die allgemeinen Rahmenbedingungen für die speziellen Materialien zum Bau von Erdbauwerken müssen hinsichtlich folgender Punkte annehmbar sein:

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

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

Die Hauptarten natürlicher Böden und Fels, für die bei Verwendung für Erdarbeiten spezielle Vorschriften erforderlich sind, sind:

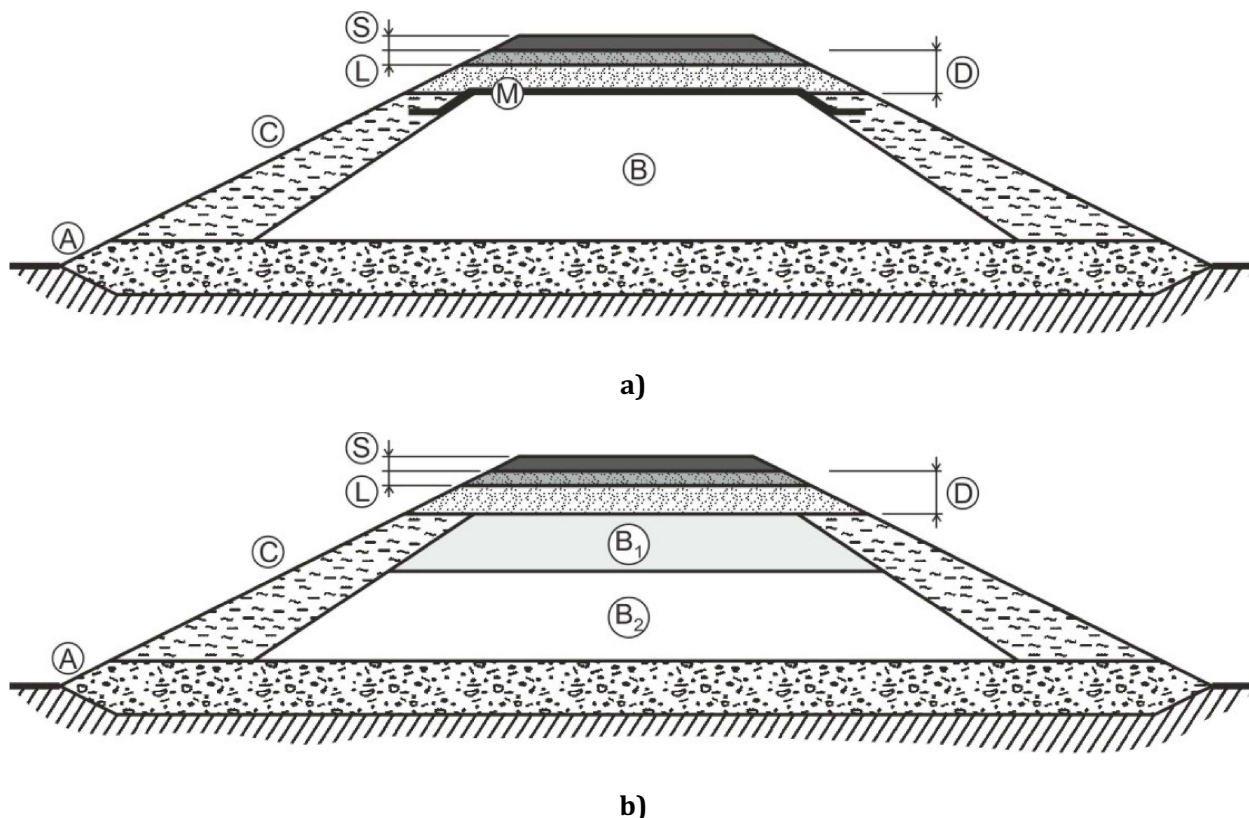
- quellende Böden (siehe prEN 16907-3:2015);
- Kreide (prEN 16907-2:2015, Anhang A, A.5);
- aride Böden (siehe prEN 16907-3:2015, Anhang A, A.6);
- tropische Verwitterungsböden (prEN 16907-3:2015, Anhang A, A.7);
- Böden, die lösliche Salze enthalten (siehe prEN 16907-2:2015, Anhang A, A.8);
- Dauerfrostböden (siehe prEN 16907-3:2015, Anhang A, A.9);
- weiche Böden (siehe prEN 16907-3).

Im Allgemeinen sind das:

- Materialien mit besonderen Bestandteilen;
- sehr trockene oder sehr feuchte Materialien;
- sehr tonhaltige Materialien;
- homometrische oder schwach strukturierte Materialien;
- veränderliche oder brüchige (spröde) Materialien.

Neben Prüfungen im geotechnischen Labor und Vor-Ort-Prüfungen sowie der Sammlung von Daten sind auch örtliche Erfahrungen hinsichtlich der Bemessung sowie die Kenntnis der geologischen Beschaffenheit und der Bedingungen zu berücksichtigen.

Beispiele für Erddämme, deren Kern aus Nicht-Standard-Materialien besteht, sind in Bild 7 dargestellt.



Legende

- A Fundament
- B Kern (Nicht-Standard-Material, das gegenüber Wassereinwirkung empfindlich ist)
- B₁ oberer Teil des Kerns, der aus gewöhnlichem Material besteht (üblicherweise tonhaltiger Boden), und B₂ von einer Infiltration von oben isoliert sowie mit seiner Masse auf B₂ wirkt, falls es sich dabei um einen quellenden Boden handelt
- B₂ Nicht-Standard-Material (empfindlich gegenüber Wassereinwirkung)
- C undurchlässige Schulter (z. B. Ton oder Ton und Kalk)
- D obere Schichten
- L Deckschicht
- M undurchlässige künstliche Platte
- S Oberbau

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

6.4.6 Hohe Erddämme

Bei hohen Erddämmen (z. B. mit einer Höhe von mehr als 15 m) sind möglicherweise besondere Untersuchungen hinsichtlich der Verdichtung des Bodens erforderlich. Für den Bau hoher Erddämme sollte die Verwendung weicher Böden und schwachen Felses sowie von Böden/Fels, die nach dem Bau zum Abbau neigen, vermieden werden, und falls sie verwendet werden, sollte das ausschließlich unter strengen Bemessungsvorgaben erfolgen. Hohe Erddämme sind mittels eines Bodenmechanik-Ansatzes auf ihre Standsicherheit hin zu überprüfen. Zusätzlich muss der Boden des Erddammfundaments auf Verformbarkeit überprüft werden.

Die Eigensetzung von hohen Erddämmen, für die oftmals 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) angenommen werden, sollte gesteuert werden. Die Eigensetzung kann durch einen höheren Grad der Verdichtung oder durch Verbesserung des Bodens mit Kalk bzw. hydraulischen Bindemitteln verringert werden.

Darüber hinaus kann es erforderlich sein, eine überwachte Haltezeit einzuhalten, sobald das Erdbauwerk seine vollständige Höhe erreicht hat und vor der Fertigstellung aller empfindlichen Elemente der auf dem Erdbauwerk errichteten Infrastruktur.

6.4.7 Erddämme auf weichen Böden

Die Bemessung von Erddämmen auf weichen Böden ist nach EN 1997-1 durchzuführen.

Bei der Auswahl von Schüttmaterialien für Erddämme, die auf weichen Böden errichtet werden sollen, muss der Planer der Erdarbeiten Folgendes berücksichtigen:

- Potenzial für eine Sättigung des Erddamm-Schüttmaterials durch Hochwasser. Falls das ein wesentliches Risiko darstellt, sollte Schüttmaterial, dessen nachteilige Beeinflussung wahrscheinlich ist (wie z. B. trocken eingebrachtes feinkörniges Schüttmaterial mit optimalem Feuchtegehalt), nicht unterhalb des vorhergesagten Hochwasserstands eingesetzt werden;
- die Notwendigkeit einer körnigen Startschicht, die eine stabile Plattform bildet, auf der eine angemessene Verdichtung der nachfolgenden Schichten des Schüttmaterials erreicht werden kann. Diese Startschicht sollte so bemessen werden, dass die Standsicherheit des Erddamms sichergestellt wird, wozu möglicherweise eine gesynthetische Bewehrung erforderlich ist, und an der Oberseite der Startschicht kann es erforderlich sein, einen geotextilen Separator einzufügen, falls die Schicht auf einer gleichmäßig gestuften grobkörnigen Schüttung gebaut ist;
- die Geschwindigkeit des Schüttvorgangs ist zu bewerten, um sicherzustellen, dass innerhalb des weichen Bodens unter dem Erddamm entstandene überschüssige Porenwasserdrücke mit einer Geschwindigkeit abgebaut werden können, bei der die Standsicherheit des Erddamms während des Baus sicherstellt ist. Möglicherweise werden mehrere Phasen des Erddammbaus festgelegt.

6.4.8 Über Hohlräumen errichtete Erddämme

Bei Erdarbeiten zum Bau von Erddämmen müssen das Vorhandensein und die Art der Hohlräume berücksichtigt werden, die unter dem Fundament des Erddamms liegen. Es kann entschieden werden, dass:

- keine besonderen Maßnahmen notwendig sind und der Erddamm 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 einige neue Konstruktionen zu bauen sind, damit die Errichtung des Erddamms ermöglicht wird;
- sonstige besondere Ausführungen angewendet werden müssen (Erddämme aus Leichtschüttmaterial, Pfahlkonstruktionen usw.).

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.

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. Kunststoffauskleidungen bedeckt wird. Zur Endlagerung 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 möglicherweise erneut verwendet werden können (siehe prEN 16907-6).

7 Bemessung von Erdarbeiten für Einschnitte

7.1 Allgemeines

Der Aushub sollte systematisch und geplant erfolgen, damit die Qualität des ausgehobenen Bodens, der dann in Erddämmen verwendet wird, erhalten bleibt. Regen- und Bodenwasser müssen in einem System aus gestuften Hängen, offenen Gräben und Abflussrohren gesammelt werden. Ein Mehraushub oder die Bildung vorübergehender steiler instabiler Böschungen sind zu vermeiden. Der Aushubvorgang ist in den Baustellenunterlagen zu dokumentieren (siehe prEN 16907-3).

7.2 Beteiligte Materialien

Neben den geologischen Klassifizierungen können die beim Aushub von Einschnitten beteiligten Materialien auch entsprechend der Bauverfahren, die für den Bau erforderlich sind, klassifiziert werden.

Ein erster Ansatz diesbezüglich sollte wie folgt aussehen (siehe prEN 16907-3):

- fester bis mittelfester Fels (Sprengen);
- mittelfester bis brüchiger Fels (Losbrechen);
- Boden (Bagger reichen für den Aushub aus).

Die mögliche Aushubfähigkeit von Einschnitten kann vorbereitend mittels geotechnischer und geophysikalischer Untersuchungen sowie Vor-Ort-Prüfungen eingeschätzt werden.

Dieser Teil der Untersuchungen muss schwerpunktmäßig darauf ausgerichtet werden, Kenntnisse über die maßgebenden Eigenschaften der Materialien innerhalb des Einschnitts dahingehend zu erlangen, inwieweit sie zum Bau von Erddämmen verwendet werden können.

Die Beschreibung des Unterbaus (Einschnittsohle) ist besonders zu beachten, da es sich dabei um das Fundament der Infrastruktur selbst handelt.

7.3 Geometrie

Durch die Bemessung von Böschungen in Einschnitten für die Infrastruktur muss die Standsicherheit sowohl kurz- als auch langfristig gesichert werden. Dieser Punkt hat viel mit den maßgebenden Eigenschaften, der geologischen Beschaffenheit und der Struktur der Materialien innerhalb der Einschnitte zu tun.

Bei der Bemessung von Böschungen in Einschnitten muss mindestens Folgendes berücksichtigt werden:

- Art der Infrastruktur und erforderliche Sicherheitsstufe (siehe 7.5). Verfügbarkeit und Art der Instandhaltung;
- Höhe des Einschnitts;
- Planum;
- beteiligte Materialien (siehe 7.1);
- geologischer Aufbau: Grundstruktur des Einschnitts und detailliertes Verhalten jeder Schicht;
- Entwässerungsbedingungen (siehe 7.4);
- Vorhandensein von oben gelegenen Gebäuden oder Infrastruktur.

Jede einzelne beteiligte Formation hat ihre eigenen speziellen Standsicherheitsmuster, die stark von den Entwässerungsbedingungen beeinflusst werden. Daher können die Böschungen in einem Einschnitt entweder konstant oder veränderlich sein (zu beiden Seiten und in unterschiedlichen Höhen).

Die Bemessung kann auch eine oder mehrere Bermen einschließen, die sich im gesamten Einschnitt auf mittlerer Höhe oder an bestimmten Stellen befinden. Sie sollten so ausgeführt werden, dass sie standsicher sind und dass Inspektionen und Instandhaltungsarbeiten an der Böschung möglich sind. Deshalb müssen Mindestabmessungen für Maschinen, Kenntnisse der beteiligten Materialien und die Entwässerungsbedingungen festgelegt werden.

7.4 Entwässerung

Die Entwässerungsbedingungen sind äußerst maßgebend, um hinsichtlich der Gebrauchstauglichkeit der Infrastruktur sowohl die Standsicherheit der Böschungen als auch eine angemessene Leistungsfähigkeit der Einschnittsohle (Unterbau) zu erreichen.

In Abschnitt 10 des vorliegenden Teils 1 der Norm werden die Grundsätze für die Entwässerung ausführlich behandelt.

7.5 Gesamtstandsicherheit

Einschnitte sind als standsichere Erdbauwerke auszuführen. Die Gesamtstandsicherheit und die Standsicherheit der Böschungen sind nach EN 1997-1 zu bewerten. Die Betrachtungen in 7.3.2 hinsichtlich der Geometrie sind ebenfalls zu berücksichtigen.

ANMERKUNG Bei Verwitterungsformationen kann das Langzeitverhalten in Bezug auf die Aushubfähigkeit, Standsicherheit der Hänge und auf weitere maßgebende Eigenschaften stark schwanken.

7.6 Maßgebende Eigenschaften der Einschnittsohle (Unterbau)

Die Einschnittsohle ist die Plattform, auf der die Infrastruktur aufgebracht wird. Die erforderlichen Eigenschaften des Erdmaterials, das die Sohle des Einschnitts bildet, werden üblicherweise vom Auftraggeber festgelegt oder durch die geotechnische, bautechnische oder straßenbautechnische Bemessung bestimmt. Die geotechnische Untersuchung muss die zu erwartenden Baugrundbedingungen klären (siehe 5.2). Die Bemessung der Erdarbeiten 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).

Die Erdbaumaßnahmen sind vom Auftragnehmer der Erdarbeiten so zu planen, dass ein unzulässiger Grad der Zerstörung der Baugrundbedingungen infolge der Erdarbeiten vermieden wird. Bei Einschnitten in Böden muss gewöhnlich besonders auf den Einbau der geeigneten Form von Entwässerungssystemen für die Erdarbeiten geachtet werden, der entweder dann vorzunehmen ist, wenn ein Einschnitt bis auf eine bestimmte Ebene erweitert wird oder unmittelbar danach.

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

Es sollte beachtet werden, dass die Übergänge von Einschnitten zu Erddämmen eine besondere Betrachtung hinsichtlich der oben genannten Probleme erfordern, weil die Entwässerungsbedingungen bei Einschnitten sehr unterschiedlich sein können (siehe Abschnitt 10).

8 Bemessung von Erdarbeiten, die durch Nassbaggern und hydraulische Einbringung der Schüttungen ausgeführt werden

Die Bemessung und Ausführung von Baggerarbeiten zur Herstellung hydraulischer Schüttungen werden in prEN 16907-6 betrachtet, wobei ihre Auslegung viele Merkmale mit der von Erddämmen und Aushüben gemeinsam hat, die „im Trockenen“ durchgeführt werden.

Die Materialien werden aus einer „Quellen“-Zone (Entnahmestelle) entnommen, an ihren endgültigen Verwendungsort transportiert und anschließend zur Landgewinnung hydraulisch eingebracht. Diese Vorgänge werden in prEN 16907-6 dieser Norm ausführlich behandelt.

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

Das Schüttmaterial ist nicht immer „frei“ wählbar, sondern abhängig vom Hauptziel der Baggerung, das darin bestehen kann, den Meeresgrund oder das Flussbett zur Erreichung eines bestimmten Profils auszuheben, unabhängig davon, wie der auszuhebende Grund beschaffen ist, oder das Ziel besteht darin, unter Verwendung ausgewählter Materialien, die in den zugehörigen Entnahmestellen verfügbar sind, eine Landgewinnung zu erreichen.

Der auszubaggernde Bereich bedarf sorgfältiger Baugrunduntersuchungen, um die Beschaffenheit und den Zustand der vorhandenen Böden und die Möglichkeit, sie auszubaggern und als Schüttmaterial 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 Schüttungen sollte der Planer sowohl die Setzung des Baugrunds aufgrund der Last der Schüttung als auch die Setzung durch das Eigengewicht der Schüttung berücksichtigen. Die Bewegungen innerhalb der Schüttung 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 mineralischer Abfälle

PrEN 16907-7 dieser Norm bezieht sich auf die hydraulische Einbringung von Böden und mineralischen Abfällen, die hauptsächlich aus Maßnahmen zur Gewinnung von Mineralen an Land stammen, d. h. aus Abbauvorgängen von Bodenschätzen an Land, und wurde teilweise durch die kürzlich erfolgten Änderungen der EU-Verordnungen vorangebracht, die die technische Planung der damit verbundenen Sicherheitsbauwerke regeln. Dennoch kann prEN 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.

Die hydraulische Einbringung wird weitläufig zur effizienten Entsorgung sowohl organischer als auch anorganischer Böden in einer Vielzahl von Industriebereichen angewendet, und prEN 16907-7 behandelt daher den größten Bereich von technischen Anwendungen. Die Hauptelemente sind nicht nur die Verwendung hydraulischer Schüttungen zum Einbringen, zur Verfestigung, Rekultivierung und Sanierung von verarbeiteten Böden und mineralischen Abfällen im Erdraum, sondern auch, was in einem regulatorischen und umweltbezogenen Zusammenhang von großer Bedeutung ist, 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 die Norm Maßnahmen zur Gewinnung von Mineralen sind, liegen auch andere Industriezweige aufgrund ihrer allgegenwärtigen und beständigen Natur in ihrem Anwendungsbereich. Die Norm behandelt daher alle geotechnischen Aspekte der Untersuchung, Bemessung, Anwendung, Überwachung und Sanierung von verarbeiteten Böden und mineralischen Abfällen, die mittels hydraulischer Schüttverfahren deponiert werden, und deckt zusammenfassend die folgenden Phasen des Prozesses hinsichtlich ihres Einflusses auf die geotechnischen Eigenschaften des Endbauwerks ab:

- Aushub – der Umfang, in dem die Geologie, 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 hydraulischen Schüttung (sowohl physikalisch als auch chemisch) verändern und beeinflussen;
- Transport – der Einfluss der Materialeigenschaften auf die Wahl der Transportmöglichkeiten für die hydraulische Schüttung;
- Einbringung – der Einfluss von geotechnischen und geochemischen Eigenschaften auf die Verfahren zur Einbringung der hydraulischen Schüttung, um eine effiziente Lagerung zu erreichen und die Sanierung zu optimieren;
- Aufbau – die bautechnischen Möglichkeiten, die für den Einschluss, die Lagerung und den Verschluss zur Verfügung stehen, um einen sicheren, stabilen und umweltverträglichen Endpunkt für die Deponie zu erreichen.

Das Hauptziel ist daher die Deponierung der Böden und mineralischen Abfälle durch hydraulische Einbringung in einer speziell errichteten und ordnungsgemäß bemessenen Lagereinrichtung. Die Größe der Deponie für derartige Materialien kann flächenmäßig von weniger als 1 000 m² bis zu einigen Quadratkilometern schwanken, und bezüglich der Höhe von einigen Metern für eine Schlickdeponie bis zu hunderten Metern für eine industrielle Absetzanlage für umfangreiche und komplexe Polymetall-Abbauvorgänge. PrEN 16907-7 stellt für den Planer, Betreiber und Regulierer den Rahmen für die Bemessung und den Bau der Lagereinrichtung bereit, damit die erforderlichen Regulierungsvorschriften und anerkannte Verfahren eingehalten werden.

10 Entwässerung

10.1 Entwässerung zum Sammeln von Wasser

Die Entwässerung ist ein Hauptbestandteil von Erdarbeiten, sowohl bei Aushüben als auch bei Erddämmen. Sie beeinflusst die Standsicherheit von Böschungen und die Leistungsfähigkeit von Erddamm-Schüttmaterialien, der Sohle von Einschnitten und der gesamten darüber liegende Infrastruktur. Als die beiden Hauptarten von Entwässerungssystemen können folgende angesehen werden:

- die Oberflächenentwässerung betrifft Abflüsse von Regen- und Schmelzwasser sowie weiterer meteorologischer Erscheinungen;
- Ziel der Grundentwässerung ist das Sammeln von Grundwasser jeglicher Herkunft (Einsickerung, Grundwasserspiegel usw.).

Der Planer der Erdarbeiten sollte die voraussichtlichen Wege des Zustroms beträchtlicher Wassermengen kennen, die sich entweder während oder nach dem Bau nachteilig auf die Erdarbeiten auswirken (Bild 8); außerdem sollte er geeignete zeitweilige und dauerhafte Entwässerungsmaßnahmen ermitteln. In jedem Einzelfall ist eine spezielle Ausführung erforderlich, die wahrscheinlich vom Entwässerungstechniker des Projekts entwickelt wird, der Probleme wie Durchflussstrom, Ausläufe und Instandhaltungsanforderungen berücksichtigt. Bild 9 stellt ein Beispiel für ein Entwässerungssystem für ein halb eingeschnittenes/halb aufgeschüttetes Profil dar. Bild 10 zeigt ein Beispiel für ein Entwässerungssystem für einen an einem Hang gebauten Erddamm. Der Planer der Erdarbeiten sollte auch mögliche Folgen eines Ausfalls des Entwässerungssystems für ein fertig gestelltes Erdbauwerk in Erwägung ziehen.

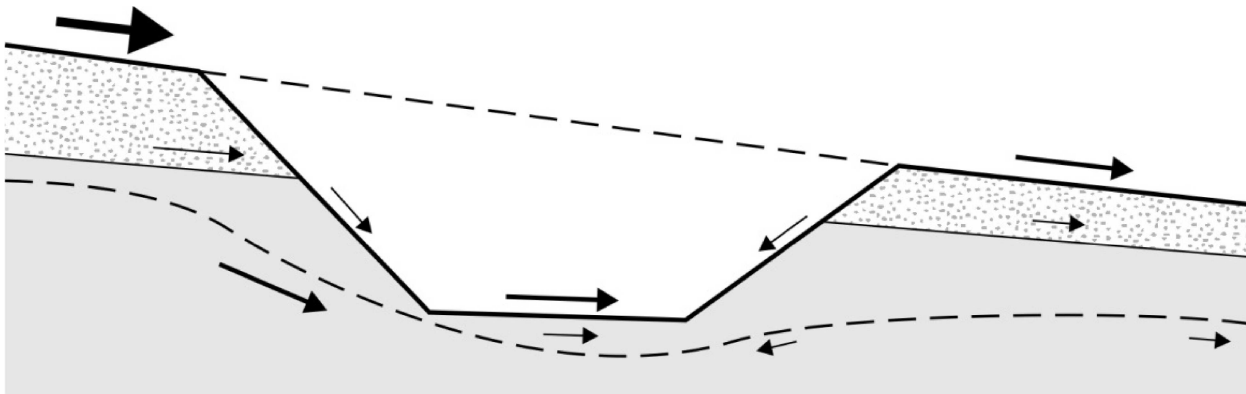
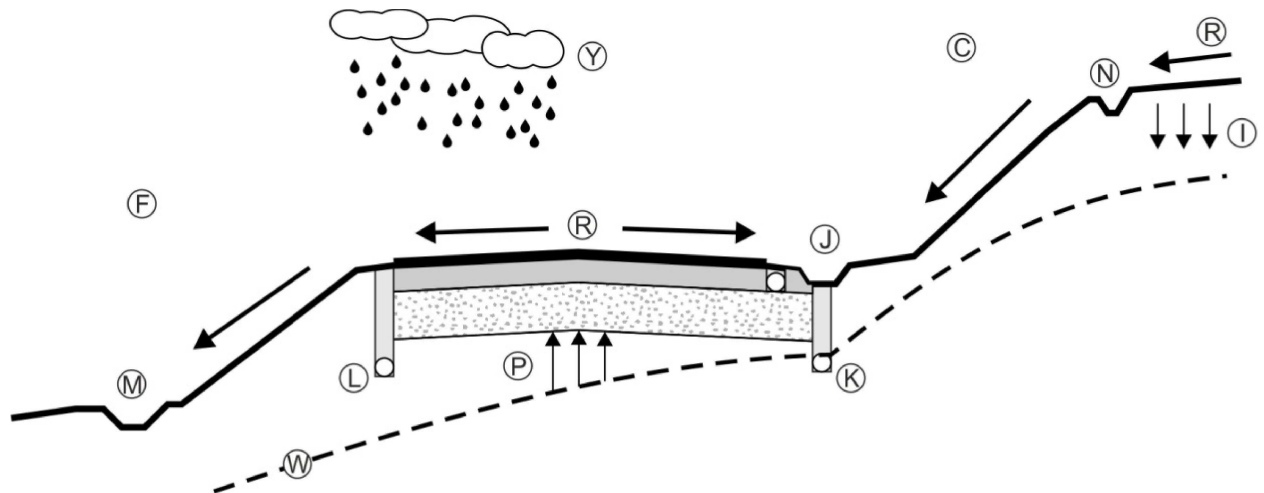


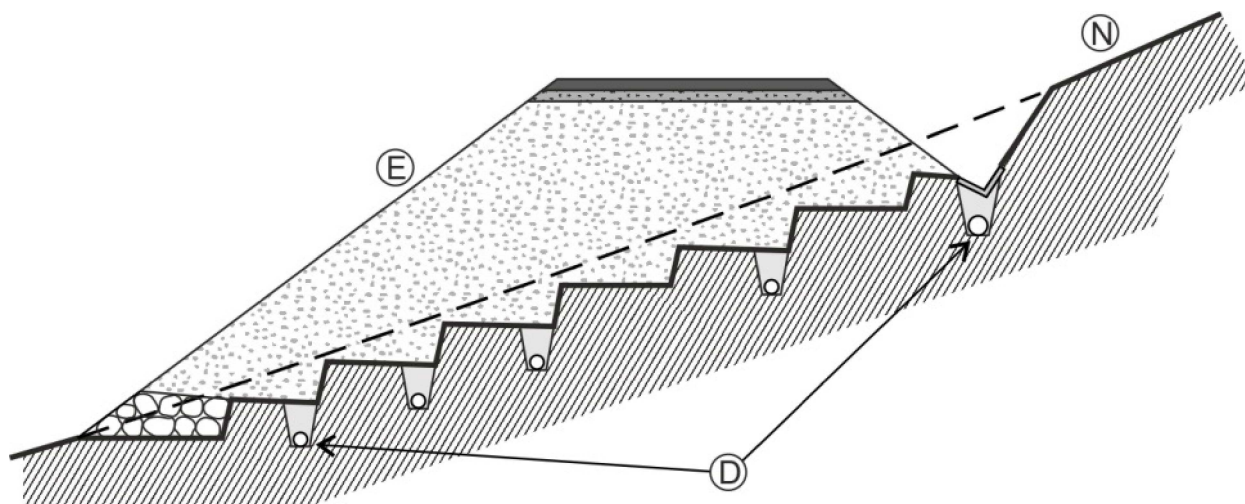
Bild 8 — Ermittlung der Wasserfließwege in einem Einschnitt zur Bemessung der Entwässerung der Erdarbeiten



Legende

- C Einschnitt
- M Dammgraben
- F Aufschüttung
- N Graben auf der Dammkrone
- I Versickerung
- P Kapillarität
- J Oberflächenentwässerung
- R Oberflächenabfluss
- K Grundentwässerung
- Y Regen
- L Oberflächen- und Grundentwässerung
- W Wasserspiegel

Bild 9 — Beispiel für die Oberflächen- und Grundentwässerung bei einem halb eingeschnittenen/halb aufgeschütteten Profil



Legende

- E Erddamm
- D längsverlaufende Abflüsse
- N natürliche Geländeoberfläche

Bild 10 — Beispiel für eine längsverlaufende Entwässerung entlang eines Straßen- oder Bahndamms an einem Hang

Wenn sich der Wassergehalt des Schüttmaterials innerhalb des Erddamms deutlich gegenüber dem Wassergehalt bei der Einbringung erhöht, besteht die Möglichkeit, dass sich die Festigkeit oder das Volumen des eingebrachten Schüttmaterials verringert. Dadurch können das Erdbauwerk selbst oder der Oberbau (z. B. Eisenbahngleise, Straße oder Gebäude, die auf dem Erddamm gründen) beschädigt werden. Das Eindringen von Wasser in einen Erddamm oder der Anstieg des Wasserstands in die Sohle von Einschnitten sollte daher entweder verhindert/auf ein Mindestmaß verringert oder bei der Bemessung berücksichtigt werden (Wahl der Schüttmaterialien und des Verdichtungssystems, Bodenverfestigung).

Wenn der Grundwasserspiegel hoch ist, kann das Wasser vom natürlichen Erdreich in die Baugrundsichten eines Einschnitts einsickern. Bei der Bemessung der Erdarbeiten sollte dieser Zustand entweder berücksichtigt werden, oder es sollte eine Anforderung aufgenommen werden, dass die Gründungsschicht aus durchlässigem Material bestehen muss, damit das Porenwasser ohne Druck in die Seitenabflüsse fließen kann. Die Abflüsse können aus Geotextilien oder mineralischen Zuschlägen hergestellt werden. Schüttmaterialien für Abflüsse oder Schüttungsschichten, die eine Entwässerungsfunktion haben, dürfen bei Reaktion mit Wasser nicht quellen, zerfallen oder sich auflösen.

Der Austritt von Wasser aus einem Erdbauwerk kann nicht immer vermieden werden. Wenn Sickerwasser auf die Böschung des Erdbauwerks ausströmen kann, sollte es möglichst durch Abflüsse aufgefangen werden, um eine Bodenerosion zu vermeiden. Bei der Bemessung des Abflusses sollten geeignete Filterregeln berücksichtigt werden, um eine Kontaktersion zu vermeiden. In Situationen, bei denen Wasser durch ein Erdbauwerk fließen kann, muss bei der Bemessung die Notwendigkeit berücksichtigt werden, dass das Einsetzen der Erosionskorrosion von Rohrleitungen verhindert werden muss.

10.2 Schutz von Böschungen gegen Erosion

Die Erosion an den Schultern von Erddämmen und den Böschungen von Einschnitten aufgrund ihres direkten Kontaktes mit Luft und Wasser (flüssig und in Form von Eis und Schnee) muss gesteuert werden.

Besondere Probleme der Erosion an Erddammschultern sind auf das Verhalten von verdichteten Materialien im Zusammenhang mit Wind, Wasserabfluss sowie Frost- und Schneeeinwirkung zurückzuführen.

Daher sollten, wenn Erosion als Problem anzusehen ist, die Maßnahmen auf die Isolierung der Materialien oder die Verringerung ihrer Wechselwirkungen gerichtet sein. Einige typische Maßnahmen sind:

- Schaffung einer künstlichen Barriere (undurchlässig oder nicht, häufig ein Geokunststoff, organische Abdichtlage usw.) über der Schulter der Böschung;
- Schaffung einer angemessenen Barriere durch Bepflanzung;
- wenn es zu übermäßiger Erosion (oder sogar Auflösung) kommen kann aufgrund der Verwendung löslicher Materialien für den Erddamm, muss eine andere und undurchlässige (tonhaltige) Böschung gebaut werden;
- wenn der übermäßige Wasserumlauf an den Schultern auf das direkt von befestigten Erddämmen herablaufende Wasser zurückzuführen ist, muss eine angemessene Maßnahme (Rinnstein an der Oberseite oder Entwässerung über die Schulter usw.) geplant werden;
- sonstige spezielle Ausführungen.

11 Optimierung der Bemessung des Erdbauprojekts

Wenn alle notwendigen Informationen über verfügbare Materialien, ihre mögliche Verwendung und die entsprechenden Prozesse vorbereitet worden sind, muss eine umfassende Bewertung und Optimierung des Erdbauprojekts vorgenommen werden. Die Optimierung betrifft sowohl die Bewegung von Erde zwischen Aushüben, externen Quellen und Erddämmen als auch die Verwendung von Ausrüstungen zur Durchführung der Arbeiten. Da Erdarbeiten wesentlich von den Wetterbedingungen beeinflusst werden, kann bei der Bemessung versucht werden, die Auswirkung kurzzeitiger nachteiliger Wettereinwirkung auf ein Mindestmaß zu verringern, aber möglicherweise muss der Bau während Zeiten schlechten Wetters für Monate unterbrochen werden. Bei der Planung des optimalen Projekts sollte die voraussichtliche Auswirkung der Wetterbedingungen auf der Baustelle berücksichtigt werden.

Die Optimierung der Erdbewegung hat folgende Ziele:

- Verringerung der Transportentfernungen zwischen dem Aushubort und dem Ort der Aufschüttung auf der Ebene des Gesamtprojekts (unter Berücksichtigung vorhandener Hindernisse wie Schienenwege, Flüsse usw.);
- Wiederverwendung des größtmöglichen Teils der Baugrundmaterialien in den zu errichtenden Bauwerken, wobei Möglichkeiten für die Verwendung der Materialien, möglicherweise durch ihre Behandlung, berücksichtigt werden. Das kann sich möglicherweise auf die geotechnischen Festlegungen für den Aushub/Einschnitt und die Erdbauwerke auswirken;
- Erreichung der maximalen Auslastung der Ausrüstungen, die in den verschiedenen Phasen der Arbeiten eingesetzt werden, wobei die Planungsanforderungen für das Projekt erfüllt werden.

Bei der Optimierung müssen die Auswirkungen klimatischer Bedingungen und Gefahren sowie ihre jahreszeitlich bedingten Schwankungen auf die verschiedenen Szenarien der Erdbewegung berücksichtigt werden.

Durch die Optimierung der Bemessung werden die Auswirkungen von Erdarbeiten auf die Umwelt begrenzt durch:

- einen verringerten Bedarf an natürlichen Ressourcen, die von außerhalb der Baustelle stammen;
- einen verringerten Bedarf an Lagerplätzen für Materialien, die nicht für Aufschüttungen verwendet werden;
- einen verringerten Landbedarf;
- einen verringerten Energieverbrauch und eine geringe Produktion von Treibhausgasen;
- eine Verringerung von Beeinträchtigungen (Lärm, Schwingungen, Beschädigung örtlicher Infrastrukturen).

Eine Optimierung erfordert:

- die genaue Charakterisierung der Baugrundmaterialien und Klassifizierung von Ressourcen hinsichtlich der Gesamtanforderungen des Projekts;
- die Analyse möglicher technischer und wirtschaftlicher Lösungen und ihrer Auswirkungen auf die Erdbauwerke und die darauf zu bauenden Konstruktionen (Deckschicht und Fahrbahn, Bahngleis, Fundamente für Gebäude usw.) hinsichtlich der mechanischen Leistungsfähigkeit, der Kosten für die Instandhaltung und der Dauerhaftigkeit;
- die Anwendung von Qualitätssicherungsverfahren für die Untersuchungen, den Bau und die Kontrolle.

12 Spezifikationen für Erdarbeiten

12.1 Allgemeines

Die Bauarbeiten werden durch eine Spezifikation der Erdarbeiten gesteuert, wobei es sich um ein Dokument handelt, das für das Projekt erstellt wurde, und die Anforderungen an die Erdarbeiten im Rahmen des Projekts behandelt. Dieses Dokument sollte vorbereitet werden, sobald die Bemessung der Erdarbeiten erfolgt ist und die geforderten Eigenschaften des Schüttmaterials festgelegt wurden. Eine Spezifikation sollte die zu erfüllenden Bemessungsanforderungen angemessen beschreiben, sollte von den Vertragspartnern leicht zu verstehen, praktisch umsetzbar und sowohl zur Durchführung als auch für Messungen geeignet sein, und ihre Anwendung sollte nicht unnötig kostenintensiv oder zeitaufwendig sein. Es sollte möglich sein, sie durch ein wirksames Qualitätssicherungsverfahren zu überwachen (prEN 16907-5).

Die Bemessungsanforderungen an das Erdbauwerk werden für den Auftragnehmer der Bauarbeiten durch eine Spezifikation und eine Reihe von Bauzeichnungen festgelegt. Es gibt die folgenden drei Arten von Spezifikationen für Erdarbeiten:

- Spezifikation des Endprodukts;
- Verfahrensspezifikation;
- Leistungsspezifikation.

Es kann für eine Spezifikation der Erdarbeiten eines Projektes angemessen sein, verschiedene Arten von Spezifikationen von Erdarbeiten für verschiedene Arten von Schüttmaterial einzubeziehen, z. B. eine Verfahrensspezifikation zur Verdichtung allgemeiner Schüttmaterialien und eine Spezifikation des Endproduktes bezüglich Verdichtung grobkörniger Schüttmaterialien. Außerdem dürfen einige Aspekte der Kontrolle verschiedene Arten von Spezifikationen einschließen (z. B. die oberflächentopografische Kontrolle von Schichten in einer Verfahrensspezifikation oder die maximale Dicke von Schichten in einer Endproduktspezifikation).

Die Spezifikation muss alle Bedingungen enthalten, die während des Baus zu erfüllen sind, um sicherzustellen, dass die folgenden allgemeinen Anforderungen eingehalten werden:

- die verwendeten Materialien sollten für die Umgebung, in der sie eingesetzt werden, chemisch geeignet sein; bei einigen Materialien könnten eine Behandlung (z. B. Verfestigung oder Sanierung) und eine Zustimmung vor der Verwendung erforderlich sein;
- die verwendeten Materialien sollten beständig (nicht zur Verschlechterung ihres Zustands neigend) und nicht biologisch abbaubar sein;
- durch die Erdarbeiten sollte eine stabile Endoberfläche entstehen, bei der es nach dem Bau nicht zu einer unzulässigen Setzung oder Bewegung innerhalb des Schüttmaterials kommt;

- die Erdarbeiten sollten zu einer Oberfläche mit geeigneter Steifigkeit (und/oder Scherfestigkeit) für den vorgesehenen Verwendungszweck führen (wenn ein zu erreichender Wert für die Steifigkeit festgelegt wird, muss dieser sowohl die aufgebrachte Last als auch die Setzung, die durch die belastete Fläche hervorgerufen wird, berücksichtigen);
- die Erdbauwerke können sicher gebaut, instand gehalten und rückgebaut werden.

Die Spezifikation sollte folgende Mindestangaben enthalten:

- a) für die Verwendung bei den Erdarbeiten zulässige Materialarten zusammen mit den Materialeigenschaften;
- b) zu erfüllende Leistungsanforderungen (bei Endprodukt- und Leistungsspezifikationen);
- c) Anforderungen an die Entsorgung von ungeeignetem Material;
- d) Anforderungen an die Einbringung, Verteilung und Verdichtung der Materialien für die Erdarbeiten;
- e) Anforderungen für die Behandlung freiliegender Oberflächen;
- f) Anforderungen an die Prüfung und die Verifizierung der Übereinstimmung.

Bei vielen Projekten beruht die Spezifikation der Erdarbeiten auf einem Normdokument, das auf der Grundlage umfangreicher Erfahrungen entwickelt wurde. In den meisten europäischen Ländern wurden diese Dokumente von den für Straßenbau, Schienenwege, Wasserwege oder Flughäfen zuständigen Behörden passend zu den jeweiligen technischen Anforderungen des betreffenden Industriezweigs und den geologischen und klimatischen Gegebenheiten des jeweiligen Landes entwickelt. Diese Dokumente unterscheiden sich hinsichtlich ihrer Detaillierungsgrads, und in vielen Fällen gibt es eine Anforderung an den Planer, die speziellen Anforderungen für ein bestimmtes Projekt festzulegen. Wenn der Auftraggeber die Anforderung an die Form der zu nutzenden Spezifikation festlegt, besteht die Aufgabe des Planers darin, die projektspezifischen Anforderungen zu bestimmen.

Bei Projekten, für die es keine vorhandene umzusetzende Norm-Spezifikation gibt, hat der Planer die Wahl, entweder ein eigenständiges Dokument vorzubereiten oder eine vorhandene Form einer Norm-Spezifikation zu übernehmen. Wenn ein vorhandenes Norm-Dokument übernommen werden soll, sollte es sich dabei um ein gängiges Verfahren handeln, dass für die Art der Arbeiten/das Klima/die Art der Schüttung geeignet ist und auf umfangreichen Labor- und Feldprüfungen beruht; Beispiele für gängige Verfahren sind in den informativen Anhängen C bis H enthalten.

Bei der Auswahl oder Vorbereitung der Spezifikation für das Projekt muss der Planer verschiedene Probleme berücksichtigen, einschließlich der folgenden:

- Feststellung, ob eine vorhandene Spezifikation für die Art des Erdbauprojekts geeignet ist, z. B. ob die Belastungskriterien des Projekts über die Kriterien hinausgehen, die in dem vorhandenen Normdokument berücksichtigt sind;
- Sonderfälle wie z. B. hydraulische Schüttungen erfordern eine Spezifikation, die speziell für die Art der Arbeiten entwickelt wird;
- technische Schüttungen, die zur Herstellung von für die Errichtung von Bauwerken geeigneten Landformen verwendet werden, sollten nach hohen Standards ausgeführt werden, um das Risiko von Bodenbewegungen, die Schäden an auf Flachgründungen gebauten Immobilien verursachen können, auf ein Mindestmaß zu verringern. Spezifikationen auf der Grundlage von für Straßendämme entwickelten Spezifikationen sind nicht unbedingt für Schüttungen geeignet, auf denen Gebäude gründen, da die zulässige Setzung voraussichtlich für ein Gebäude wesentlich kleiner ist als für eine Straße; daher könnte eine strengere Spezifikation als für Straßenzwecke erforderlich sein;

- Straßenbauvorhaben sind oftmals größere Bauprojekte, während Bauvorhaben für Flachbauten, die auf einer technischen Schüttung gründen, oft vom Umfang her relativ klein sind. Die Kontrollverfahren sollten für den Umfang des Projekts und die Kritikalität der Grenzabweichungen für die Setzung geeignet sein. Kontrollverfahren für große Straßenbauprojekte sind möglicherweise für Schüttungen, die z. B. als Teil eines kleinen Wohngebäudes eingebracht werden, nicht immer die geeignetsten.

12.2 Endproduktspezifikation

In diesem Fall legt die Spezifikation unter Bezugnahme auf Kriterien, die mit entweder der Gebrauchstauglichkeit oder den Grenzzuständen der Tragfähigkeit verbunden sind, den Grad der Verdichtung fest, der für ein bestimmtes Material erforderlich ist. Der erforderliche Verdichtungsgrad wird üblicherweise in Form von ausgewählten geotechnischen Eigenschaften angegeben, z. B. als prozentualer Anteil der maximalen Trockendichte oder als vorgeschriebene Mindeststeifigkeit, und wird durch Vor-Ort-Prüfungen der Erdarbeiten unterstützt.

Wenn eine Endprodukt-Spezifikation verwendet wird, legen die Anforderungen üblicherweise zu erreichende Gesamtziele fest, ohne die zur Erreichung dieser Ziele zu verwendenden Verfahren genau festzulegen. Die Spezifikation sollte die Anforderungen beschreiben, die von dem Erdbauwerk als Ganzes zu erfüllen sind, und darf auch verschiedene Teilziele enthalten, die zu verifizieren sind (z. B. Mindestanforderungen an eine Schicht vor der Verbreitung der nächsten Schicht).

Eine Endprodukt-Spezifikation darf zur Steuerung von Erdarbeiten unter der Voraussetzung angewendet werden, dass der Ansatz die verschiedenen Probleme, die Erdarbeiten beeinträchtigen, angemessen regelt.

Die vorgenannten Kriterien hängen damit zusammen, dass gezeigt werden muss, dass die Erdbauwerke so gebaut werden sollten, dass sie für die beabsichtigte Endverwendung geeignet sind. Um diese Ziele zu erreichen, sollten der Auftragnehmer der Erdarbeiten und der Planer eine Reihe praktischer Fragen berücksichtigen, wozu ein Arbeitsverfahren/eine Spezifikation vorhanden sein muss (wer dieses Dokument schreibt, wird gewissermaßen Planer der Erdarbeiten, siehe 6.3). Meist ist es erforderlich, während der Ausführung der Erdarbeiten ein Qualitätskontrollsystem für die Erdarbeiten umzusetzen (selbst wenn das in der Spezifikation nicht gefordert wird), um sicherzustellen, dass das eingebrachte Material voraussichtlich die Anforderung an das Endprodukt erfüllt und langfristig stabil bleibt (z. B. führen Änderungen des Feuchtegehalts nach der Verdichtung nicht zu einer unzulässigen Verschlechterung des Schüttmaterialzustands).

12.3 Verfahrensspezifikation

Eine Verfahrensspezifikation legt fest, wie die Verdichtung hinsichtlich der Arten von Verdichtungsanlagen, des Betriebsverfahrens, der Anzahl der Übergänge der Anlage und der Enddicke der verdichteten Schicht erfolgen sollte. Diese Spezifikationen wurden anhand von Untersuchungen entwickelt, bei denen Prüfungen der Anlage im Originalmaßstab angewendet wurden, und sollten entweder vollständig oder überhaupt nicht verwendet werden. Wenn der Planer entscheidet, eine vorhandene Spezifikation eines bewährten Verfahrens zu verwenden, muss das Projekt auch das Klassifizierungssystem, auf dem diese Spezifikation beruht, anwenden (siehe Abschnitt 9 und prEN 16907-5 bezüglich Klassifizierung und prEN 16907-3 für Verdichtungsverfahren).

Wenn eine Verfahrensspezifikation für ein Projekt verwendet werden soll, sollte es sich dabei um ein gängiges Verfahren handeln, dass für die Art der Arbeiten/das Klima/die Art der Schüttung geeignet ist und auf umfangreichen Labor- und Feldprüfungen beruht; Beispiele für gängige Verfahren sind in den informativen Anhängen C bis H enthalten. Die Spezifikation sollte eine begrenzte Anzahl von vor Ort durchgeführten Dichteproofungen enthalten, um zu bestätigen, dass der mit dem Verfahren erreichte Verdichtungsgrad den Erwartungen entspricht.

Wenn keine auf erprobten Erfahrungen beruhende Verfahrensspezifikation vorhanden ist, kann ein geeignetes Verdichtungsverfahren durch gut kontrollierte Vor-Ort-Prüfungen des Schüttmaterials und der beabsichtigten Anlage bewertet werden. Dieser Ansatz ermöglicht es dem Auftragnehmer, die Arbeiten auf der Baustelle wirksam zu leiten. Jedoch ist es in dieser Situation wahrscheinlich, dass die Arbeiten noch durch eine Endprodukt-Spezifikation abzunehmen wären.