

DIN EN 16907-3

ICS 93.020

**Erdarbeiten –
Teil 3: Ausführung von Erdarbeiten;
Deutsche Fassung EN 16907-3:2018**

Earthworks –
Part 3: Construction procedures;
German version EN 16907-3:2018

Terrassements –
Partie 3: Procédés de construction;
Version allemande EN 16907-3:2018

Gesamtumfang 97 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 16907-3:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 396 „Erdarbeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

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

Deutsche Fassung
Erdarbeiten —
Teil 3: Ausführung von Erdarbeiten

Earthworks —
Part 3: Construction procedures

Terrassement —
Partie 3 : Procédés de construction

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 14. Mai 2018 angenommen.

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

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

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



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

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

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Allgemeines	7
4.1 Grundvoraussetzungen für die Ausführung von Erdarbeiten.....	7
4.2 Witterungsbedingungen	7
4.3 Umweltfaktoren.....	8
4.4 Verwendung von hergestellten Sekundärmaterialien und rezyklierten Materialien	9
5 Aushub (Lösen und Laden)	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 Materialarten und Aushubtechniken	10
5.3 Besonderheiten bei Aushubarbeiten in Fels	11
5.4 Einfluss von Aushubverfahren auf die Verwendung	12
5.5 Schutz von Einschnitten während der Bauarbeiten	13
5.5.1 Standsicherheit während der Bauarbeiten.....	13
5.5.2 Abflussregelung/Entwässerung.....	13
5.5.3 Erosion.....	14
5.5.4 Schutz des Untergrunds	14
5.6 Aushub unter Wasser.....	14
5.6.1 Allgemeines	14
5.6.2 Geräte.....	15
5.6.3 Toleranzanforderung.....	15
5.6.4 Unterwassersprengungen	15
5.6.5 Bauüberwachung und -kontrolle	16
5.6.6 Umweltschutz.....	16
6 Transport.....	16
6.1 Allgemeines	16
6.2 Massenerdbebau.....	17
6.2.1 Allgemeines	17
6.2.2 Transportarbeiten auf Untergrund oder Planumsschicht	18
6.2.3 Baustraßen	18
6.3 Art des Materials und Massenguttransport	19
6.3.1 Allgemeines	19
6.3.2 Staub.....	20
6.3.3 Schutz von vorhandenen Bauwerken und erdverlegten Versorgungseinrichtungen.....	20
6.4 Lastkraftwagen.....	21
6.5 Alternative Transportverfahren	21
6.5.1 Allgemeines	21
6.5.2 Transport auf dem Wasserweg.....	22
6.5.3 Transport auf dem Schienenweg	22
6.6 Transport von Materialien aus dem Tunnelbau	22
7 Einbauen und Verdichten	24
7.1 Materialgruppen	24
7.2 Spezifikationen des Verdichtungsverfahrens	25

7.3	Vorbereitung der Aufschüttfläche.....	25
7.4	Verteilen	27
7.4.1	Allgemeines	27
7.4.2	Verdichtung von Böschungsrändern.....	28
7.4.3	Schichtdicke.....	30
7.5	Verdichten.....	30
7.5.1	Allgemeines	30
7.5.2	Arten von Verdichtungsgeräten.....	31
7.5.3	Auswahl des Verdichtungsgeräts	32
7.6	Einbauen unter Wasser	33
7.6.1	Allgemeines	33
7.6.2	Ausführung	34
7.6.3	Schüttmaterial	36
7.6.4	Damböschungen.....	36
7.6.5	Austausch/Verdrängung von weichem Boden	37
Anhang A (informativ) Organisation und Ausführung von Versuchsquerschnitten		38
A.1	Allgemeines	38
A.2	Verfahren.....	38
Anhang B (informativ) Verwendungsbedingungen für die Hauptgruppen der Materialien.....		41
B.1	Einleitung	41
B.2	Feinkörnige und gemischtkörnige Materialien.....	41
B.2.1	Gesichtspunkte hinsichtlich der Klassifizierung	41
B.2.2	Definition der Zustände von feinkörnigen und gemischtkörnigen Böden.....	42
B.2.3	Allgemeine Gesichtspunkte zum Bau	43
B.2.4	Feinkörnige und gemischtkörnige Materialien — trockene und normale Zustände.....	44
B.2.5	Feinkörnige Materialien — nasser Zustand	48
B.3	Grobkörnige Materialien	53
B.3.1	Allgemeines	53
B.3.2	Sehr grobkörniges Material.....	54
B.3.3	Grobkörniges Material	55
B.3.4	Gesichtspunkte bei Entwurf und Bemessung.....	56
B.3.5	Gesichtspunkte bei der Bauausführung.....	58
B.3.6	Gesichtspunkte hinsichtlich Qualitätssicherung und Qualitätssteuerung.....	58
B.4	Brüchiger Fels, mittelfester und veränderlich fester Fels.....	59
B.4.1	Gesichtspunkte hinsichtlich des Verhaltens	59
B.4.2	Gesichtspunkte bei Entwurf und Bemessung.....	60
B.4.3	Aushub und Transport	60
B.4.4	Zusätzliche Baumaßnahmen.....	61
B.4.5	Bau von Dämmen.....	61
B.4.6	Gesichtspunkte hinsichtlich Qualitätssicherung und Qualitätssteuerung.....	61
B.5	Festes Felsgestein.....	62
B.5.1	Gesichtspunkte bei Entwurf und Bemessung.....	62
B.5.2	Aushub und Transport	62
B.5.3	Bau von Dämmen.....	63
B.5.4	Zusätzliche Parameter.....	63
B.6	Kreide	64
B.6.1	Allgemeines	64
B.6.2	Gesichtspunkte hinsichtlich des Verhaltens	64
B.6.3	Gesichtspunkte bei Entwurf und Bemessung.....	64
B.6.4	Aushub und Transport	66
B.6.5	Einbau und Verdichtung	68
B.6.6	Gesichtspunkte hinsichtlich Qualitätssicherung und Qualitätssteuerung.....	69
B.6.7	Zusätzliche Leitlinien für Erdarbeiten mit Kreide	69
B.7	Verwendung von ariden Böden.....	71

B.7.1	Vorteile und Grundlagen von Trockenverdichtungen.....	71
B.7.2	Definition von ariden Böden — Anwendungsbereich des Verfahrens	72
B.7.3	Besonderheiten der Trockenverdichtung.....	73
B.8	Tropische Verwitterungsböden	74
B.8.1	Allgemeines	74
B.8.2	Problemstellungen bei der Ausführung von Erdarbeiten	75
B.8.3	Tropische Verwitterungsböden auf Eruptivgestein	76
B.8.4	Tropische Verwitterungsböden auf ophiolithischem Gestein	76
B.9	Lösliche Salze	76
B.9.1	Definition.....	76
B.9.2	Lösliche Salze: Prüfverfahren zur Identifizierung	77
B.9.3	Mögliche Problemstellungen bei der Ausführung von Erdarbeiten	78
B.9.4	Praktische Regeln für den Einsatz löslicher Materialien.....	78
B.10	Aktivtone	80
B.10.1	Definition.....	80
B.10.2	Prüfverfahren zur Identifizierung.....	81
B.10.3	Identifizierung des Quellrisikos.....	81
B.10.4	Mögliche Problemstellungen bei der Ausführung von Erdarbeiten	84
B.10.5	Praktische Regeln für den Einsatz von Aktivtonen.....	84
B.11	Dämme auf Dauerfrostboden.....	86
Anhang C (informativ) Baumaschinentypen für Aushubarbeiten.....		88
C.1	Tieflöffelbagger mit 360-Grad-Schwenkradius.....	88
C.2	Hochlöffelbagger mit 360-Grad-Schwenkradius	88
C.3	Kettenfrontlader/Radfrontlader	89
C.4	Scraper.....	89
Anhang D (informativ) Typen von Transportgeräten.....		91
Anhang E (informativ) Beispiele nationaler Praktiken.....		92
E.1	Befahrbarkeitsgrenzen in Frankreich und Großbritannien	92
E.2	Spanische Praxis bei feinkörnigen Böden in normalem und trockenem Zustand	92
E.3	Französische Praxis bei brüchigem Gestein	93
E.4	Schwedische Praxis bei nassen feinkörnigen Böden (mit Konsolidierungszeit).....	93
Literaturhinweise.....		95

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 16907-3:2018) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 396 „Erdarbeiten“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

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

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

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

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

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

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm stellt Verfahren für den Aushub, den Transport und den Einbau von Böden und Fels für die Ausführung von Erdbauwerken und einen Leitfaden für die Erdarbeiten bereit. Sie behandelt außerdem den Aushub und den Einbau von Fels unter Wasser.

Das Nassbaggern von Böden und die damit verbundenen Aufschüttungen im Spülverfahren sind durch EN 16907-6 und EN 16907-7 abgedeckt.

Die Ausführung von Erdarbeiten richtet sich nach den Ergebnissen der Entwurfsplanung und Optimierungsphase der Erdarbeiten (EN 16907-1), mit denen die Eigenschaften von Boden und Fels und ihre Eignung vorhergesehen werden sollten. Beim Eintreten von nicht vorhersehbaren Ereignissen werden zusätzliche Planungsschritte während der Ausführung der Erdarbeiten durchgeführt.

2 Normative Verweisungen

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

EN 16907-1, *Erdarbeiten — Teil 1: Grundsätze und allgemeine Regeln*

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

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

3 Begriffe

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

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

— IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>

— ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Befahrbarkeit

Fähigkeit einer Materialoberfläche, der Befahrung bei Erdarbeiten standzuhalten

3.2

Verdichten

Prozess der Entfernung von Luft aus dem Boden in der Regel mit mechanischen Mitteln

3.3

Verdichtungsarbeit

für das Verdichten aufgewendete Energie

3.4

Überverdichtung

Zustand, der beim Verdichten entsteht, wenn ausreichend Luft aus einer Füllung entfernt wurde, so dass weitere Verdichtungsarbeit zu erhöhten Porenwasserdrücken führt, was eine Instabilität der Oberfläche des Materials verursacht

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine Überverdichtung von grobkörnigen Böden kann auch zur Zerkleinerung einzelner Bodenkörner führen und damit die Korngrößenverteilung verändern.

3.5

bezogene Lagerungsdichte

Dichtezustand eines grobkörnigen Bodens (natürlich oder verdichtet), der durch den Vergleich seiner Porenzahl (e) mit der für das bestimmte Material erreichbaren kleinsten ($e_{\min}$) und größten ($e_{\max}$) Porenzahl bestimmt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Die kleinste und die größte Porenzahl entsprechen dem dichtesten Zustand ($I_D = 100\%$) bzw. dem lockersten Zustand ($I_D = 0\%$) ($= [e_{\max} - e / e_{\max} - e_{\min}] \times 100\%$).

3.6

feinkörniger Boden

in Abhängigkeit von nationalen Praktiken Boden mit einem Feinkornanteil von mindestens 15 %

3.7

aktiver feinkörniger Boden

wasserempfindlicher, feinkörniger Boden, der bestimmte Schrumpf-/Schwelleigenschaften aufweist, die bei Erdarbeiten berücksichtigt werden müssen

4 Allgemeines

4.1 Grundvoraussetzungen für die Ausführung von Erdarbeiten

Vor Beginn der Ausführung von Erdarbeiten sollten sämtliche geotechnischen Fragestellungen der Planungsphase geklärt werden, einschließlich der zeitweiligen und dauerhaften Standsicherheit sowie zu Erosion und Setzungen. Sämtliche sich während der Planungsphase ergebenden ungelösten Punkte müssen allen Projektbeteiligten mitgeteilt und vor Beginn der Bauarbeiten hervorgehoben werden. Die Verantwortlichkeiten für den Projektabschluss müssen eindeutig festgestellt werden.

Vor Ausführungsbeginn der Arbeiten, muss die Planung für jeden Arbeitsabschnitt abgeschlossen sein, einschließlich einer Bewertung der verfügbaren Materialien und ihrer Eignung (siehe EN 16907-1 und EN 16907-2).

4.2 Witterungsbedingungen

Bevor mit der Ausführung von Erdarbeiten begonnen wird, müssen die an der Baustelle vorherrschenden Witterungsbedingungen berücksichtigt werden. Jahreszeitliche Witterungsveränderungen können Erdarbeiten beeinträchtigen.

Während Niederschlagsperioden sollte bei wasserempfindlichen Materialien eine Unterbrechung der Erdarbeiten in Erwägung gezogen werden. Falls notwendig, sollte die Geländeoberfläche vor dem Eindringen von Wasser geschützt werden.

Bei trockenen Witterungsbedingungen sollte die Abdeckung freiliegender Geländeoberflächen durch unempfindliche Materialien in Betracht gezogen werden, um Verdunstungsverluste zu vermeiden.

ANMERKUNG In unterschiedlichen Regionen können die Gesichtspunkte hinsichtlich der Witterungsbedingungen variieren. So kann beispielsweise ein gefrorener Baugrund als zeitweilige Arbeitsebene dienen, durch die weicher Boden besser ausgehoben werden kann.

4.3 Umweltfaktoren

Sämtliche Erdarbeiten sollten nach der jeweils gültigen Umweltgesetzgebung ausgeführt werden.

Durch Erdarbeiten können sowohl die natürliche als auch die bebaute Umgebung in Mitleidenschaft gezogen werden. Daher sollten Erdarbeiten so geplant werden, dass mögliche Beeinträchtigungen minimiert werden.

Die bei Erdbauarbeiten zu berücksichtigenden Umweltfaktoren sind im Allgemeinen:

Lärm — Europäische und nationale Bestimmungen sollten berücksichtigt werden. Das gilt für Anwohner, die durch die Zunahme von Lärm über die gesetzlichen Grenzen hinaus beeinflusst werden. Vor Beginn der Erdarbeiten sollten Bewertungen der Geräuschemissionen der verschiedenen Erdbaumaschinentypen sowie Messungen des Hintergrund-Geräuschpegels durchgeführt werden.

Eingeschränkte Arbeitszeiten und die Errichtung zeitweiliger Lärmschutzwände, Erdwälle oder Umzäunungen sollten in Betracht gezogen werden.

Verunreinigungen — Bestehen innerhalb eines Aushubs verunreinigte Bereiche, sollten sämtliche Tätigkeiten dahingehend überwacht werden, dass eine weitere Verunreinigung des angrenzenden Bodens verhindert wird. Die Handhabung von verunreinigten Materialien sollte gesondert erfolgen. Falls eine Haldenlagerung vorgesehen ist, sollte die Oberfläche, auf der sie errichtet wird, so abgedichtet und geformt sein, dass ein mögliches Abfließen von verunreinigtem Wasser verhindert wird. Außerdem sollten mögliche Auswirkungen auf Arbeiter berücksichtigt und geeignete Schutzausrüstungen bereitgestellt werden.

Beim Umgang mit verunreinigten Materialien sollten geeignete Geräte ausgewählt werden.

Staub — Bei Erdarbeiten kann es zu Staubentwicklung kommen, z.B. bei feinkörnigen Böden unter trockenen Wetterbedingungen.

Die Staubbildung sollte durch Besprühen der freiliegenden Oberflächen mit Wasser minimiert werden. Wenn die freiliegenden Oberflächen mit Oberboden angedeckt und im fortschreitenden Verlauf der Arbeiten eingesät werden, wird das Potential für eine Staubentwicklung vermindert.

Gewässerschutz — Die häufigste Ursache für Verschmutzungen durch Erdarbeiten liegt in der Verschmutzung von Oberflächenwasser durch unkontrolliertes Abfließen von Sediment. Bei der Planung der Erdarbeiten muss demzufolge die vorzusehende Wasserhaltung bedacht werden. Die Errichtung von Sedimentationsanlagen und der Einsatz von Sedimentationsvorhängen können Maßnahmen zur Lenkung sein.

Schwingungen und insbesondere die Empfindlichkeit vorhandener Bauwerke oder Gebäude oder Versorgungseinrichtungen gegenüber Schwingungen und Schalldruckwellen müssen berücksichtigt werden.

Übliche Erdarbeiten verursachen aller Wahrscheinlichkeit nach keine schädlichen Schwingungspegel. Sprengarbeiten hingegen können erhebliche Schwingungen verursachen und möglicherweise entweder die Erdbauwerke oder benachbarte Gebäude beschädigen. Falls durch Sprengungen verursachte Schwingungen Schäden verursachen können, sollten Sprengarbeiten untersagt und durch Aufreißen und/oder hydraulisches Brechen ersetzt werden.

4.4 Verwendung von hergestellten Sekundärmaterialien und rezyklierten Materialien

Aus Gründen der Kreislaufwirtschaft und der Umweltverträglichkeit sollte der Ausführende der Erdarbeiten die Verwendung aufbereiteter Materialien und industrieller Nebenprodukte in Erwägung ziehen. Diese umfassen typischerweise Altmaterialien aus Abbrucharbeiten (Betonbruch usw.) und industrielle Nebenprodukte, wie z. B. Flugasche, gebrannten Kohlschiefer, Biomasse-Aschen, Schlacke, Formsand und Zementofenstaub sowie Nebenprodukte aus Abbau, und Weiterverarbeitungsprozessen.

Bei Verwendung von Nebenprodukten und wiederaufbereiteten Materialien muss sich der Ausführende der Erdarbeiten mit besonderen Anforderungen befassen. Diese lassen sich in zwei grundsätzliche Kategorien hinsichtlich der Gesetzgebung und der geotechnischen Anforderungen einteilen.

Die gesetzgeberischen Anforderungen betreffen die Vergabe von Umwelt- und Abfalllizenzen, durch die die Verwendung solcher wiederaufbereiteter Materialien und Nebenprodukte geregelt wird. Um Umweltbeeinträchtigung zu vermeiden, ist die Verwendung solcher Materialien üblicherweise durch strenge nationale Kontrollen reglementiert. Es sollte berücksichtigt werden, dass diese Materialien oftmals als „Abfall“ betrachtet werden und die Gesetzgebung diesbezüglich in vielen Fällen komplex gestaltet ist. Aufgrund des Risikos von Umweltbeeinträchtigung, die diese Materialien sowohl während der Erdarbeiten als auch während der Nutzungsphase der Erdbauwerke darstellen, sollte eine Verwendung gründlich bewertet werden. Oftmals stehen diese Umweltbeeinträchtigung in Zusammenhang mit Luftverschmutzung durch Staub sowie der Verschmutzung von Grund-/Oberflächenwasser durch Sickerwasser.

Die geotechnischen Anforderungen beziehen sich auf die besonderen Merkmale der rezyklierten Materialien und hergestellten Sekundärmaterialien. Die Tatsache, dass sich diese Materialien oftmals anders verhalten als natürliche Materialien, muss sowohl bei ihrer Spezifikation als auch bei ihrer Verwendung in ausreichendem Maß berücksichtigt werden. Ein besonderes Augenmerk sollte auf ihre dauerhafte Beständigkeit in physikalischer wie chemischer Hinsicht gelegt werden, da insbesondere hergestellte Sekundärmaterialien anfällig für eine allmähliche chemische Zersetzung sein können, die zu einem Versagen des Bauwerks führen kann. Es sollten Prüfpläne erarbeitet werden, mit denen die Beschaffenheit der Materialien festgestellt und deren Verhalten auf die Gebrauchstauglichkeit hin beurteilt wird.

Ein häufig angewendetes Mittel, um ein umweltverträgliches und in Bezug auf geotechnische Merkmale geeignetes Material zu erhalten, ist die Bearbeitung durch Vermengen oder Vermischen mit anderen Nebenprodukten oder natürlichen Materialien. Bei diesen Maßnahmen sollte mit denselben Überlegungen und Kontrollen vorgegangen werden, wie vorstehend angegeben.

5 Aushub (Lösen und Laden)

5.1 Allgemeines

Der Aushub bei Erdarbeiten ist der Prozess der Herstellung von Einschnitten oder anderen Abtragungen, der im Allgemeinen mithilfe mechanischer Mittel durchgeführt wird und der das Beladen der Transporteinrichtungen mit dem ausgehobenen Material umfasst. Aushub und Beladung stellen einen integrierten Prozess dar. Dieser Abschnitt legt die Hauptgesichtspunkte hinsichtlich Aushub (und Beladen) fest.

Ziel des Aushubvorgangs ist die Ausbildung des für die Erdarbeiten bemessenen Aushubprofils. Dabei sollte der Aushub so geplant werden, dass sowohl sichergestellt ist, dass die ausgehobenen Materialien während des Aushubs so erhalten/geschützt werden, dass sie für ihre vorgesehene Verwendung geeignet bleiben, als auch, dass der Aushub sicher und effizient durchgeführt werden kann, während Aushubsohle/Untergrund und der angrenzende Baugrund beim Aushubprozess unversehrt bleiben.

Aushubarbeiten sollten nicht begonnen werden, bevor der zu verfüllende Bereich für die Aufnahme des Materials vorbereitet ist oder bevor ein geeignetes zeitweiliges Zwischenlager verfügbar ist.

Bei der Herstellung von Einschnitten unter kälteren Witterungsbedingungen in frostempfindlichen Böden sollten, bei einer Frosteindringtiefe von mehr als 0,5 m ab Sollprofil, Blöcke aus dem Boden vollumfänglich ausgehoben bzw. entfernt werden.

5.2 Materialarten und Aushubtechniken

Die Art und Beschaffenheit des auszuhebenden Materials ist der Hauptgesichtspunkt beim Aushubprozess. Durch die Gruppe des Materials (siehe informativen Anhang B) werden die Art und die Geschwindigkeit des Aushubs festgelegt. Deshalb ist es von grundlegender Bedeutung, vor dem Beginn der Aushubarbeiten die Arten des Materials, das ausgehoben werden soll, zu bestimmen.

Fallen beim Aushub unterschiedliche Materialien an, sollte die Notwendigkeit einer Trennung der verschiedenen Körnungen während des Aushubs oder deren Vermischung (z. B. Frontaushub) überdacht werden.

In Tabelle 1 sind die hauptsächlichen Materialarten (nach Anhang B) und die jeweils geeigneten Aushubtechniken festgelegt.

Tabelle 1 — Materialarten

Materialart	Mögliches Aushubverfahren	Mögliche Vorbehandlung
Feinkörnig und gemischtkörnig (alle Zustände)	Tieflöffelbagger Hochlöffelbagger Radfrontlader Kettenfrontlader Scraper	Für den Aushub mit Scrapern kann bei nassen Böden eine Behandlung mit Bindemitteln erforderlich sein.
Grobkörnig (alle Stufungen)	Tieflöffelbagger Hochlöffelbagger Radfrontlader Kettenfrontlader Scraper	Keine Um den Aushub zu ermöglichen oder um die Trocknung (sog. „Ausbluten“) der Materialien zu unterstützen, kann eine Entwässerung erforderlich sein.
Fels — brüchig	Tieflöffelbagger Hochlöffelbagger Radfrontlader Kettenfrontlader Scraper	Beim Aushub mit Scrapern ist im Allgemeinen ein Aufreißen oder Sprengen erforderlich. Aufreißen oder Lösen durch Sprengung kann auch bei anderen Aushubverfahren hilfreich sein.
Fels — fest	Tieflöffelbagger Hochlöffelbagger Radfrontlader	Sprengung mit Sprengstoff und/oder Brechen mit Hydraulikhämmern. Bei einigen festen Felsarten kann das Aufreißen mit schwerem Gerät in Betracht gezogen werden.
Kreide	Tieflöffelbagger Hochlöffelbagger Radfrontlader Kettenfrontlader Scraper	In einigen Kreidearten kann die Verwendung von Scrapern zum Zerfall und Festigkeitsverlust des Materials führen und es kann die Verwendung von Bindemitteln erforderlich werden. Falls die Verwendung von Bindemitteln vermieden werden muss, sollten andere Aushubverfahren in Betracht gezogen werden. Bei fester Kreide kann ein Aufreißen notwendig sein.

Die in der vorstehenden Tabelle aufgeführten Aushubverfahren (Maschinentypen) sind in Anhang C beschrieben.

Große Hydraulikbagger verfügen über eine große Reißkraft und können Sprengarbeiten vermeiden.

Spezielle Aushubgeräte mit großer Reichweite oder geringem Bodendruck oder Eimerkettenbagger werden oft beim Aushub von wenig tragfähigen oder organischen Böden erforderlich. Die Vorgenannten bieten auch Vorteile bei Aushubarbeiten in Bereichen, die nur schwer zugänglich sind, sowie in Baugrundverhältnissen, in denen die Arbeiten im Hinblick auf die Standsicherheit nur eingeschränkt stattfinden können.

Es besteht die Möglichkeit, den Aushub während des Aushubprozesses zu behandeln (z. B. mit Kalk) (siehe Anhang J von EN 16907-4:2018).

5.3 Besonderheiten bei Aushubarbeiten in Fels

Anders als bei Aushubarbeiten im Boden stellen Aushubarbeiten im Fels besondere Anforderungen an die Ausführung.

Eine Voreinschätzung über den Schwierigkeitsgrad der Abtragstechnologie von Fels und Felsmassen ist sehr wichtig. Es werden unterschiedliche Begriffe in Bezug auf die Abtragstechnologie und die Bruchmechanik verwendet, um den Lösevorgang von Fels zu beschreiben. In dem vorliegenden Dokument wird der Begriff der Machbarkeit des Aushubs verwendet, der sich im weitesten Sinne auf den Schwierigkeitsgrad des Aushubs von Fels und Felsmassen bezieht und der folgende Verfahren umfasst:

- a) Baggern, bei einfachen/sehr einfachen Aushubbedingungen (Boden oder loses Gestein);
- b) Aufreißen, bei gemäßigten bis schwierigen Aushubbedingungen (brüchiger Fels, Zersatz von festem Fels);
- c) Sprengen, bei sehr schwierigen Aushubbedingungen (fester Fels).

Die Bewertungen zur Feststellung eines niedrigen oder hohen Schwierigkeitsgrades, der für das Ausheben von Fels gilt, beruhen auf der Berücksichtigung folgender Punkte:

- d) dem Gestein aus dem der vorhandene Fels und das Gebirge besteht (da der Aushub bei großen Felsvolumen die Zertrümmerung und den Bruch des Felsmaterials bedingt);
- e) Beschaffenheit, Ausmaß und Richtung der Bruchflächen;
- f) die geologische Struktur in Bezug auf Faltung, Bruchflächen und Schieferung.

Eine indirekte Bewertung dieser Parameter kann auf Grundlage folgender Punkte erfolgen:

- Beschreibung des Felsgesteins (siehe EN 16907-2);
- seismische Geschwindigkeit der P-Welle und Felsbeschaffenheit;
- Index für die Bruchabstände und Punktlastversuch;
- geologischer Festigkeitsindex.

ANMERKUNG Beispiele solcher indirekten Bewertungsverfahren finden sich in: Caterpillar tables (ref), Pettifer and Fookes, Quarterly Journal of Engineering Geology, 27, 145-164; Bull eng Geol Environ (2010) 69:13-27 — Excavatability assessment of rock masses using the Geological Strength Index.

Zusätzlich können die folgenden Angaben maßgeblich sein:

- relevante Parameter hinsichtlich Gesteinshärte, Bruchflächen, Verwerfungen und Falten (direkt oder indirekt);
- Angaben zu Verwitterung, Verkarstung, Hydrogeologie.

Für eine Auswahl des geeigneten Aushubverfahrens sollten folgende Angaben zur Verfügung gestellt werden:

- Bewertung der geologischen Beschaffenheit der Felsmasse;
- Protokolle, Laborprüfungen und Photographien durchgeführter Bohrungen;
- sämtliche Einschränkungen aufgrund bestehender Bauwerke, Gebäude, Versorgungseinrichtungen usw., welche die Auswahl des Aushubverfahrens beeinflussen könnten.

Falls Sprengarbeiten erwartet werden, sollten zusätzliche Angaben eingeholt werden:

- gegebenenfalls das Vorhandensein von Wasser;
- Empfindlichkeit bestehender Bauwerke oder Gebäude oder Versorgungseinrichtungen gegenüber Schwingungen und Schalldruckwellen;
- bei angrenzenden empfindlichen Böden: Einschränkungen hinsichtlich der Schwingungen und unmittelbaren Auswirkungen aufgrund von Sprengarbeiten.

Zusätzlich können die folgenden Angaben maßgeblich sein:

- maximale Teilchengeschwindigkeit für jeden Frequenzbereich;
- gegebenenfalls Ergebnisse aus Testsprengungen;
- erwartete Schwankungen in der Deckschicht der zu sprengenden Felsmasse;
- maximal zulässige Größe von Felsblöcken in Schüttmaterial oder andere Festlegungen auf der Körnungslinie;
- Empfindlichkeit von Umwelt und Nachbarschaft.

5.4 Einfluss von Aushubverfahren auf die Verwendung

Die vorgesehene Nutzung des ausgehobenen Materials beeinflusst das Aushubverfahren. Bei Materialien, die für die Verwendung in einer tragenden Aufschüttung (z. B. für einen Damm oder ein Planum) bestimmt sind, ist ein Aushubverfahren erforderlich, durch das ihre Wiederverwendung optimiert und ihre Beschaffenheit nicht verschlechtert wird und bei dem sie für eine Verdichtung in der Aufschüttfläche geeignet bleiben.

Materialien, die in ihrem Verhalten während der Ausführung von Erdarbeiten (Lösen, Laden, Transport, Einbauen und Verdichten) empfindlich reagieren, sollten so ausgehoben werden, dass eine Aufrechterhaltung ihrer Eigenschaften während der Handhabung sichergestellt wird.

Das Verfahren, mit dem eine wirksame und gleichmäßige Vermischung erzielt wird, ist unter Berücksichtigung der Art und der Verteilung des Materials sorgfältig auszuwählen.

ANMERKUNG Andererseits müssen Materialien, die für nichttragende Aufschüttungen (wie z.B. in Geländeprofilierungen oder für eine Ablagerung in Randbereichen) vorgesehen sind, nicht so ausgehoben werden, dass ihre Beschaffenheit erhalten bleibt.

Im Allgemeinen sollten Materialien, die gesondert aufgetragen werden müssen, gesondert ausgehoben werden. Jedoch ist es in manchen Fällen von Vorteil, als Teil des Aushubprozesses absichtlich verschiedene Materialkörnungen zu vermischen, um die Materialgüte zu verbessern und somit die Eignung eines andernfalls ungeeigneten Materials herzustellen oder die Kennwerte eines zulässigen Materials zu optimieren.

5.5 Schutz von Einschnitten während der Bauarbeiten

5.5.1 Standsicherheit während der Bauarbeiten

Bei Festlegung der Höhe und der Neigung der Aushubböschung muss sich das Hauptaugenmerk auf die tatsächlichen Baugrundverhältnisse für jeden einzelnen Aushub richten.

Sofern keine Bewertung der Auswirkungen auf die Standsicherheit erfolgt ist, sollten zeitweilige Böschungen, die durch den fortschreitenden Aushub von Einschnitten errichtet werden, nicht steiler sein, als die für die dauerhafte Böschung bemessene Neigung. Aushubböschungen, die durch Aushub mit einem Tieflöffel-/Hochlöffelbagger/Frontlader entstehen, sind im Allgemeinen senkrecht und sollten daher nicht über längere Zeit stehengelassen werden. Falls der Aushub nicht als fortlaufender Prozess vorgesehen ist, sollten die senkrechten Aushubwände auf eine sichere Neigung abgeschrägt werden, um ein Versagen bis zur Wiederaufnahme der Aushubarbeiten zu vermeiden. Im Allgemeinen sollten senkrechte Aushubwände aus Böden niemals eine Höhe von 5 m überschreiten und entlang der Oberkante jederzeit durch zeitweilige Umzäunungen oder Erdwälle geschützt werden.

Bei jedem Aushub sollte die Höhe der Berme in Betracht gezogen werden; beim Aushub einiger Felsarten darf diese 5 m überschreiten.

ANMERKUNG Bei Ton können für senkrechte oder steile Aushubböschungen strenge Einschränkungen gelten, wobei die Höhe üblicherweise auf 2 m oder 3 m begrenzt wird.

Der Aushub darf nicht über das Bemessungsprofil hinausgehen. Falls beim Aushub versehentlich das geplante Profil überschritten wird, muss die Bemessung überprüft werden. Ist für den entstandenen Hohlraum eine Aufschüttung erforderlich, muss diese wie bei einem Erddamm mit Materialien mit geeigneten technischen Eigenschaften durchgeführt werden. Wo an Böschungsfüßen Gräben ausgehoben werden müssen (zur Entwässerung und ähnlichen Zwecken), sollten diese so ausgehoben werden, dass die benachbarte Böschung nicht unterhöhlt wird. Eine Aufschüttung/Wiederherstellung sollte möglichst zeitnah erfolgen.

Die Notwendigkeit der Überwachung der Standsicherheit von Aushubböschungen oder benachbarter Bauwerke sollte geprüft werden.

5.5.2 Abflussregelung/Entwässerung

Aushubarbeiten sollten so geplant werden, dass die auszuhebenden Materialien nicht verschlechtert oder das fertiggestellte Bauwerk nicht durch Wasser beschädigt werden können. Das Wasser entstammt zwei Quellen; Grundwasser, wo der Aushub sich bis unterhalb des Grundwasserspiegels erstreckt und Niederschlagswasser („Oberflächenwasser“). In manchen Fällen tritt Schichtenwasser auch oberhalb des Grundwasserspiegels auf, wenn innerhalb eines nicht wasserführenden Bodens wasserführende Bodenlinsen vorkommen. Im Allgemeinen wird dieser Umstand als „schwebendes Grundwasser“ bezeichnet. Besonders beachtet werden müssen artesischen Brunnen, die gespannte Grundwasserleiter sind, die

Grundwasser unter Überdruck führen. Unkontrollierter Wasserandrang im Aushubbereich kann Schäden oder Bodenerosion verursachen.

In jedem Fall müssen die Auswirkungen solcher Vorgänge auf die benachbarte Umgebung (z. B. bestehende Brunnen, Gebäudesetzung aufgrund der Senkung des Grundwasserspiegels) bewertet werden.

Grundsätzlich ist dafür Sorge zu tragen, dass geeignete Maßnahmen zur Verhinderung von Umweltschäden geplant und vorbereitet sind.

ANMERKUNG Die schadlose Ableitung von Oberflächen- und Schichtenwasser ist Voraussetzung für die Durchführung von Aushubarbeiten in Verbindung mit der Herstellung von Drainagen, Gräben, Rinnen o.ä. Vorrichtungen. In einigen Fällen werden diese Freispiegelsysteme durch eine Entwässerung mittels Pumpen unterstützt.

Bei Aushubarbeiten, die sich bis unter den Grundwasserspiegel erstrecken, ist es oftmals erforderlich, den Grundwasserspiegel vor Beginn der Aushubarbeiten künstlich abzusenken. Für solche Zwecke gibt es Grundwasserabsenkungssysteme. Die Vorinstallation dauerhafter Dränagen kann ebenfalls hilfreich sein. Diese vorausgehende Wasserhaltung ermöglicht nicht nur einen effizienten Aushub, sondern verbessert zudem in den meisten Fällen die Eigenschaften der auszuhebenden Materialien.

5.5.3 Erosion

Ausgehobene Böschungen, insbesondere in Abtragungen, die feinkörnige Bodenanteile enthalten, sind anfällig für Erosion durch Regen oder Wind. Offene Böschungen sollten so zeitnah wie möglich durch Anwendung der festgelegten Schutzmaßnahmen, z. B. durch Abdeckung mit Oberboden und durch Besäen/Bepflanzen oder Kies geschützt werden. Andernfalls sollte eine zeitweilige Schutzschicht auf der Böschung verbleiben, um eine Erosion der fertiggestellten Böschung zu verhindern, und diese Schutzschichten sollten erst unmittelbar vor Anwendung der Schutzmaßnahme entfernt werden.

Erosion kann auch aufgrund austretenden Grundwassers in einer Böschung mit geschichteten Böden auftreten. Es sollten geeignete Maßnahmen zur Entwässerung und zum Erosionsschutz angewendet werden.

5.5.4 Schutz des Untergrunds

Der Untergrund des Einschnittes oder der Abtragung sollte ohne Schutz- oder Abhilfemaßnahmen keiner feuchten Witterung oder Frost ausgesetzt werden.

Nach der Frostperiode muss der Untergrund untersucht werden und es müssen alle notwendigen Maßnahmen (Nachverdichtung, Bodenbehandlung, Aushub und Austausch usw.) durchgeführt werden.

Während der Bauarbeiten wird üblicherweise am Boden des Einschnittes, unmittelbar über dem Untergrund, eine Schutzschicht belassen, um Schädigungen des Untergrundes zu vermeiden. Der Aushub sollte erst über diese Schutzschicht hinausgehen, wenn die Vorkehrungen für die weitere Bearbeitung getroffen sind. Das Befahren der Schutzschicht sollte eingeschränkt werden.

5.6 Aushub unter Wasser

5.6.1 Allgemeines

Die in diesem Abschnitt beschriebenen Erdarbeiten beziehen sich auf das Abtragen von weichem Boden vor Aufbau eines Damms im Wasser sowie auf andere Arten von Nassbaggerarbeiten begrenzten Umfangs. Dazu gehört das Entfernen von Hindernissen in Fahrrinnen und Kanälen durch Sprengungen und/oder Aushub.

Für Nassbaggerarbeiten im Allgemeinen wird auf EN 16907-6 verwiesen.

Die besonderen, für die Planung von Aushubarbeiten unter Wasser relevanten Informationen hinsichtlich der Bedingungen auf der Baustelle, neben den Baugrundverhältnissen, sind:

- Geometrie der Baustelle, einschließlich der Randbedingungen;
- Topographie und Zugangsmöglichkeiten;
- Böschungen und Beschränkungen der lichten Höhe;
- Wassertiefe sowie Unterwasserböschung und Topographie des Gewässerbodens mit angegebenen Toleranzen;
- bestehende unterirdische Bauwerke, Rohrleitungen und Kabel/Leitungen, Versorgungseinrichtungen, bekannte Verunreinigungen und archäologisch bedingte Einschränkungen;
- Beschränkungen in Bezug auf Umweltfaktoren.

5.6.2 Geräte

Aushubarbeiten unter Wasser können entweder vom Festland aus oder von einem Schubleichter oder einer Hubinsel aus durchgeführt werden.

Werden die Arbeiten vom Festland aus durchgeführt, ist es besonders wichtig, sicherzustellen, dass die Reichweite der Geräte hinsichtlich der Wassertiefe, der Aushubtiefe und der Neigung des Aushubs/Damms ausreicht, um sicher arbeiten zu können. In diesem Fall ist es von großer Bedeutung, Kenntnisse über die Standsicherheit des Damms/der Aushubböschung während der Ausführung der Aushubarbeiten zu besitzen. Zeitweilige Standsicherheit ist ebenso wichtig wie dauerhafte Standsicherheit.

Wenn die Möglichkeit besteht, auf große Felsblöcke zu stoßen, ist es wichtig, dass die Geräte für die Handhabung auch größerer Felsblöcke geeignet sind. Sehr große Felsblöcke können möglicherweise gesprengt werden.

ANMERKUNG Im Allgemeinen werden Aushubarbeiten mithilfe eines Tieflöffelbaggers oder eines seilgeführten Greifers/Nassbaggers durchgeführt.

5.6.3 Toleranzanforderung

Die Neigung des Aushubs und die Höhentoleranzen müssen der Planung entsprechen.

Besondere Anforderungen für Bereiche mit Schifffahrtsverkehr sind festzulegen.

5.6.4 Unterwassersprengungen

Wenn der Baugrund (Boden oder Fels) zu fest ist, um mit mechanischen Geräten gelöst und ausgehoben zu werden, dürfen Sprengungen durchgeführt werden.

Vor der Sprengung muss der Fels von losen Materialien befreit werden. Die Bemessung der Sprengung muss auf der Kartographierung des Grundgesteins beruhen und Sprengungsplan, Bohrungen und Sprengmittel müssen an die Baustellenbedingungen angepasst werden.

ANMERKUNG Es können gegebenenfalls folgende Einschränkungen maßgeblich sein:

- Anforderungen hinsichtlich Umweltfaktoren (zulässige Sprengerschütterung, Abstand zu Fischkulturen usw., Einschränkungen hinsichtlich Lärm);
- Sprengungsart, Anforderungen an schonendes Sprengen und Toleranzen für das Profil;
- Verfahrensweisen für abschnittsweise Sprengungen, Ladung;
- Schaffung einer Abtreppungen durch Sprengung für eine Dammböschung unter Wasser.

5.6.5 Bauüberwachung und -kontrolle

Um Informationen für eine Kontrolle und für gegebenenfalls erforderliche Anpassungen der Erdarbeiten zu erhalten, sollten die unter Wasser ausgeführten Aushub- und Sprengarbeiten überwacht werden.

ANMERKUNG Bei Aushubarbeiten kann die Bauüberwachung beispielsweise folgende Punkte betreffen:

- Aushubmenge;
- Art und Körnung des ausgehobenen Materials;
- Bathymetrie.

5.6.6 Umweltschutz

Durch Lärm, Schwingungen, Staub, Bodenkörner im Wasser und Schalldruckwellen können Umweltbeeinträchtigungen verursacht werden. Wenn erforderlich, müssen Maßnahmen ergriffen werden, um diese schädlichen Auswirkungen zu begrenzen oder zu verhindern.

ANMERKUNG Relevante Maßnahmen zur Kontrolle von Bodenkörnern im Wasser sind folgende:

- Sedimentationsvorhang;
- biologische Umweltbewertung;
- Trübungsmessungen.

6 Transport

6.1 Allgemeines

Das vorrangige Ziel des Transports (die Bewegung des Aushubs von den Einschnitten bis zu den Aufschüttflächen) während der Bauphase von Erdarbeiten ist die Verringerung der Wegstrecken, über die die Materialien transportiert werden, bei gleichzeitiger Erfüllung der Projektanforderungen.

Die Durchführung des Transports ist direkt mit der Bodenart und der Befahrbarkeit des Bodens verknüpft. Die Projektbeteiligten sollten sich der unterschiedlichen Parameter bewusst sein, die beim Voraussehen bestimmter technischer Wahlmöglichkeiten, die zu Mehrkosten führen, eine Rolle spielen (z. B. Errichtung von Baustraßen, Aufzeigen einer niedrigen Leistungsfähigkeit, Schutz dauerhafter Bauwerke, Maßnahmen zur Staubbekämpfung und dergleichen).

Der Transport kann innerhalb der Grundfläche der Erdarbeiten erfolgen, auf einer Baustraße, auf dem im Bau befindlichen Damm oder Einschnitt, auf der Planumsschicht oder auf dem Untergrund. Der Transport kann auch auf Baustraßen entlang des Dammfußes sowie auf öffentlichen Straßen durchgeführt werden. Für den Transport auf öffentlichen Straßen dürfen nur Geräte verwendet werden, die dafür zugelassen sind. In jedem der vorstehend genannten Fälle sind eine angemessene Vorplanung und Organisation erforderlich.

Bei der Auswahl von Geräten sollten zur Optimierung der Leistungsfähigkeit des Transports vier Hauptparameter berücksichtigt werden:

- Transportweg zwischen Aushub- und Aufschüttungsbereich;
- Beschaffenheit, Partikelgröße und Zustand des Aushubmaterials;
- die zu bewegende Menge;
- Gestaltung der Transportstrecke (Neigung, Rollwiderstand, Tragfähigkeit usw.).

Zusätzlich können in einigen Fällen folgende Faktoren von Bedeutung sein:

- örtliches Klima und die während der Baumaßnahmen erwarteten Witterungsbedingungen;
- die zur Erfüllung eines Programms erforderliche stündliche oder tägliche Leistungsfähigkeit;
- feste Anlagen oder vorhandene Gegebenheiten (Bauwerke, Rohre/Leitungen, bestehende Straße, Freileitungen), die zu einer Verringerung von Ladekapazität oder Abmessung führen können;
- Umweltschutz;
- die Auswahl des Typs der Ladegeräte.

Bei der Auswahl der Gerätetypen müssen die vorstehend angegebenen Faktoren, d.h. der Typ der Ladegeräte, die Fördermengen, die Tragfähigkeit und die Transportentfernung, berücksichtigt werden. Die wichtigsten Gerätetypen werden in Anhang D vorgestellt.

ANMERKUNG Durch das Verhältnis zwischen stehenden Anteilen (Laden und Kippen) und variablen Anteilen (Abfahrt des Materials und Rückfahrt) im Zyklus der Erdarbeiten wird der relative Wirkungsgrad von Gerätetypen über unterschiedliche lange Transportstrecken bestimmt.

Für längere Transportstrecken sind Geräte mit hohen Transportgeschwindigkeiten und vergleichsweise längeren Standzeiten geeignet, wohingegen sich für kürzere Transportstrecken eher Geräte mit geringeren Transportgeschwindigkeiten und vergleichsweise kürzeren stehenden Anteilen eignen. Beispielsweise werden in einigen speziellen Fällen für den Transport über sehr kurze Strecken und bei Böden mit sehr geringer Tragfähigkeit Planierdrauen (mit sehr geringen Transportgeschwindigkeiten) verwendet.

Eine effiziente Arbeitsweise ist auch abhängig von Kriterien wie Wärme und Kälte, Höhenlage, Staub, Regen und Luftfeuchte, die den mechanischen Wirkungsgrad der Transportgeräte bestimmen.

Falls das Projekt eine hohe Leistungsfähigkeit erfordert und die Baustelle für jeglichen anderen Verkehr geschlossen ist, empfiehlt sich die Verwendung von Baugeräten für den Schwerlasteinsatz.

6.2 Massenerdbau

6.2.1 Allgemeines

Um das Abfließen des Wassers sicherzustellen und eine Erhöhung des Wassergehalts von wasserempfindlichen Böden zu verhindern, ist ein angemessenes Wasserhaltungskonzept erforderlich.

ANMERKUNG Bei der Aufschüttung ist ein Mindestgefälle im Querschnitt erforderlich, um einen Wasserabfluss zu ermöglichen (z. B. 2,5 % bis 4 % für Linienbauwerke).

Wenn Böden eine sehr geringe Tragfähigkeit aufweisen oder wenn eine hohe Leistungsfähigkeit gefordert ist, können Baustraßen notwendig sein. Diese Wege können sich im Einschnitt oder sowohl im Einschnitt als auch auf der Aufschüttung befinden. Sie können aus grobkörnigem Material oder behandeltem Boden bestehen. Die Anordnung dieser Baustraßen verändert sich mit Fortschreiten der Erdarbeiten, wobei eine möglichst große Materialmenge wiederverwendet wird.

Folglich ist eine Bewertung der Befahrbarkeit auf bestehendem Boden ein sehr wichtiger Parameter im Massenerdbau, um in Bezug auf die Leistung und die Befahrbarkeit das am besten geeignete Erdbaugerät auszuwählen sowie Leistungsfähigkeit und Notwendigkeit von Baustraße vorauszusehen.

Wenn das Material nass ist, können Bereiche zum Be- und Entladen eine geringe Tragfähigkeit aufweisen, was zu einer niedrigen Leistung führt.

Bei weichen oder wasserempfindlichen Böden sollte eine vorausgehende Bewertung der Befahrbarkeit erfolgen.

Diese kann beispielsweise auf Prüfungsergebnissen basieren, wie z. B. dem CBR-Index, dem IBI-Index, dem Feuchtigkeitszustandsindex, der undränierten Scherfestigkeit oder dem Verhältnis von Wassergehalt/Plastizität.

6.2.2 Transportarbeiten auf Untergrund oder Planumsschicht

Falls der Transport von Massengut auf dem Untergrund oder der Planumsschicht geplant ist (z. B. von einem Einschnitt zu den Aufschüttungen), müssen die zu transportierende Menge sowie der vorgesehene Gerätetyp bei der Bemessung des Untergrundes oder der Planumsschicht in ausreichendem Maß berücksichtigt werden. Tatsächlich kann die Belastung hierbei viel größer sein, als in der Bemessung für den dauerhaften Oberbau vorgesehen.

Besteht die Planumsschicht aus stabilisiertem Material das eine Abbindezeit erfordert, muss der Untergrund während der Abbindezeit frei von Verkehr gehalten werden, um Schäden am Untergrund zu vermeiden. Die Planumsschicht sollte so bemessen sein, dass sie dem Transport des Materials für die Frostschutzschicht standhalten kann.

Darüber hinaus kann das Befahren bei oder nach Regenfällen bestimmte Materialien beeinträchtigen. Im Allgemeinen trifft das auf Kalkstein und einige brüchige Felsarten zu und kann zum Beispiel mithilfe der Micro-Deval-Prüfung unter Wasser bewertet werden.

Schwerlastverkehr kann zu einer Verringerung der Höhe der Arbeitsfläche um mehrere Zentimeter führen. In diesem Fall sind Maßnahmen zum Schutz der Arbeitsfläche in Betracht zu ziehen, zum Beispiel:

- Abschieben der Arbeitsfläche und Auffüllen vor dem abschließenden Planieren;
- Belassen einer Schutzschicht aus Materialien über den endgültigen Einschnittebenen oder Überschütten der Aufschüttung in ähnlichem Umfang.

6.2.3 Baustraßen

Unter manchen Umständen kann der Bau einer zweckbestimmten Baustraße erforderlich sein. Im Allgemeinen befinden sich diese Strecken innerhalb der Fläche des Erdbaus; wenn der Platz es aber zulässt, sollte eine Herstellung der Baustraße neben der Fläche in Erwägung gezogen werden.

Da ein Versagen dieser Baustraße den Prozess der Erdbewegung in erheblicher Weise stören kann, sollte das Verkehrsaufkommen, dem die Straße standhalten muss, bei Bemessung und Bau in grundlegender Weise berücksichtigt werden. Eine bauliche Unterhaltung der Baustraße, wie z. B. regelmäßige Planier- und Ausbesserungsarbeiten, sollte durchgeführt werden, bevor eine Verschlechterung zu einem Bauwerksversagen führt. Eine Verschlechterung lässt sich im Allgemeinen anhand einer Spurrinnenbildung nachweisen, die, wenn sie nicht behoben wird, zu einem unbefahrbaren Zustand der Straße und letztendlich zu ihrem Versagen führt.

Der Entwurf der Baustraße muss den Maschinen einen Umlauf unter den besten Betriebsbedingungen und bei höchster Sicherheit ermöglichen. Falls es die geographische Beschaffenheit des Geländes zulässt, sollte die Errichtung von Baustraßen mit jeweils einer Richtung (Einbahnstraßen) in Betracht gezogen werden, um den Verkehr mit beladenen und entladenen Fahrzeugen voneinander zu trennen.

Folgende Verfahrensweisen haben sich bewährt:

- Gefälle < 10 %;
- Sicherheitsberme für die Abfahrt in hügeligem oder bergigem Gelände;
- Straßenbreite zwischen 4 m und 16 m, je nach Größe und Bewegungsrichtung des Geräts;
- ein für den Einsatz der vorgesehenen Geräte ausreichender Kurvenradius von horizontalen Kurven;
- an der Baustraße müssen Straßenverkehrszeichen aufgestellt werden, die insbesondere Folgendes anzeigen;
- Geschwindigkeitsbegrenzungen;
- scharfe Kurven, Fahrverbote;
- Kreuzungen mit Straßen und Gehwegen;
- einzelne Punkte und gefährliche Hindernisse (Brücken, Freileitungen usw.); diese sollten von Absperrungen zur physischen Abtrennung begleitet werden;
- Trennung von Erdbaumaschinenverkehr und anderem Verkehr auf dem Gelände und Fußgängern;
- Bewässerung zur Staubvermeidung (Umwelt- und Sicherheitsfaktoren).

Ein Versagen der Baustraße tritt mit höherer Wahrscheinlichkeit an Stellen mit besonders hoher Verkehrsdichte auf. Deshalb sollten Baustraßen so breit wie möglich gehalten und der Baustellenverkehr gleichmäßig über die vollständige Breite verteilt werden. Wo durch geländebedingte Einschränkungen schmale Durchfahrtswege genutzt werden müssen, sollte eine Verstärkung der Baustraßen durch Bodenbehandlung oder einen Belag aus ungebundenem Gestein in Betracht gezogen werden. Auf keinen Fall sollten Baustraßen auf Ebenen oder an Stellen gebaut werden, auf/an denen eine Beschädigung des vor Ort vorhandenen Untergrunds (in Einschnitten) oder des errichteten Unterbaus (auf Dämmen) erfolgen kann.

6.3 Art des Materials und Massenguttransport

6.3.1 Allgemeines

Wie vorstehend erläutert, ist der Transport auf natürlichem Boden von Beschaffenheit und Zustand des Materials abhängig.

Zur Auswahl des am besten geeigneten Erdbaugeräts müssen sämtliche relevanten Informationen hinsichtlich des Materials zur Verfügung gestellt werden.

Folgende Faktoren sind zu berücksichtigen:

- geringe Befahrbarkeit von wasserempfindlichen Materialien im nassen Zustand;
- rasche Verringerung der Befahrbarkeit während Regen bei feinkörnigem Boden mit geringer Plastizität;
- rutschige Oberflächen von feinkörnigen Materialien bei Regen;
- Vorhandensein scharfkantiger Blöcke (z. B. Flinte), die die Reifen des Transportgeräts beschädigen können;

- Plastischer Boden, der an der Karosserie des Transportgeräts kleben bleiben kann und die Arbeitsleistung verringert.

Da die Befahrbarkeit im Allgemeinen der Schlüsselfaktor beim Transport von Massengütern ist, müssen genügend Informationen verfügbar sein, anhand derer die Befahrbarkeit des Materials bewertet werden kann. Dazu können einige der folgenden Prüfergebnisse gehören: CBR-Index, IBI-Index, Feuchtigkeitszustands-Wert oder andere relevante Parameter. Eine Ausnahme hiervon ist Kreide, die durch ihren natürlichen Wassergehalt und die In-situ-Trockendichte gekennzeichnet ist.

Wie bereits beschrieben, nimmt mit zunehmender Durchlässigkeit der wasserempfindlichen Materialien die Befahrbarkeit mit steigendem Wassergehalt ab. Auf einigen Schluffmaterialien kann die Befahrbarkeit sogar bei einem natürlichen Wassergehalt nahe am Proctoroptimum schlecht sein.

In Anhang D finden sich typische, nach nationalen Vorschriften zugelassene Werte.

6.3.2 Staub

Beim Transport erzeugter Staub kann ein Umweltproblem darstellen, ist jedoch stets auch ein Sicherheitsproblem, da Staub die Sichtverhältnisse an der Baustelle erheblich einschränkt.

Bei trockenen Witterungsbedingungen oder während der trockenen Jahreszeiten verursachen Transportarbeiten die Entwicklung von Staub. Die Staubbildung kann verringert werden, indem die Feinanteile, z. B. durch einen Erdhobel, entfernt werden.

Die beste Möglichkeit zur Kontrolle von Staub ist die Verwendung eines Sprühbefeuchters. Bei großem Betrieb und bei einigen Materialarten muss sehr häufig gesprüht werden, wodurch hohe Wassermengen zum Einsatz kommen können und in Regionen mit geringem Wasservorrat die Umwelt beeinträchtigt werden kann.

Die für die Unterdrückung von Staub verwendete Wassermenge kann verringert werden, wenn das Wasser mit entsprechenden Zusatzstoffen versetzt wird.

Es können auch andere Möglichkeiten zur Verringerung der Staubbildung in Betracht gezogen werden, einschließlich der folgenden:

- Bodenbehandlung der Arbeitsfläche;
- Oberflächenbehandlung mit Bitumen und Splitt;
- Schicht aus grobkörnigem Material;
- Verkleidung/Abdeckung von Kippfahrzeugen und Lastkraftwagen.

6.3.3 Schutz von vorhandenen Bauwerken und erdverlegten Versorgungseinrichtungen

Vorhandene und als Teil der Erdarbeiten errichtete Bauwerke, die während des Transports gekreuzt werden dürfen, sind im Allgemeinen folgende:

- erdverlegte Versorgungseinrichtungen oder Rohrleitungen; falls diese nicht vor den Bauarbeiten verlegt wurden, können entweder durch eine Betonplatte oder eine kleine Überschüttung geschützt werden;
- Freileitungen sollten durch sichere Kennzeichnung des Kreuzungspunkts geschützt werden;
- vorhandene Straßen, die durch Baustraßen gekreuzt werden, sollten durch Betonplatten geschützt und als lichtsignalgesteuerte Kreuzungspunkte ausgebaut werden;

- Bauwerke als Teil der Maßnahme, sollten so bemessen werden, dass die Transportlasten aufgenommen werden. In diesem Fall wird für gewöhnlich eine Kiesschicht über einer Folie verlegt, die als behelfsmäßige Schutzschicht wirkt;
- ein teilweise oder vollständig fertiggestelltes Erdplanum, das nicht durch den Baustellenverkehr beschädigt werden darf.

Bestehende Bauwerke müssen während der Entwurfsplanung bewertet werden, um Höchstlast und die Maße des Geräts anzupassen.

6.4 Lastkraftwagen

Lastkraftwagen werden im Allgemeinen für größere Entfernungen auf geeigneten Baustraßen oder öffentlichen Straßen verwendet.

Für Baustellentransporte können sie für gewöhnlich nur auf Materialien mit einer guten Tragfähigkeit, wie z. B. grobkörnigem Material oder stabilisierten Böden, verwendet werden.

Falls Lastkraftwagen für den Transport auf öffentlichen Straßen von oder zu einer Erdbaustelle verwendet werden, muss das die Erdarbeiten ausführende Unternehmen folgende Punkte festlegen:

- die für das Gebiet zugelassenen Transportstrecke(n) und -zeiten (nach Absprache mit den lokalen Behörden). Die Bedingungen für die Nutzung öffentlicher Straßen müssen vor Beginn der Bauarbeiten eindeutig festgelegt sein;
- an öffentlichen Straßen notwendige Vorarbeiten für die Sicherheit und zur Vermeidung von Straßenschäden;
- Verkehrsbeschilderung für die Sicherheit an Baustellenein- und ausfahrten;
- technische Möglichkeiten zur Vermeidung von Verschmutzungen der öffentlichen Straßen mit Schlamm oder Staub (z. B. durch Bitumenbeschichtung von Baustraßen im Zufahrtsbereich zur öffentlichen Straße, Reifenwaschanlagen usw.);
- Anforderungen an die Reinigung öffentlicher Straßen.

6.5 Alternative Transportverfahren

6.5.1 Allgemeines

Beim Transport von großen Materialmengen über weite Strecken oder wenn Gesichtspunkte hinsichtlich der Umwelt eine ausschlaggebende Rolle spielen, sollte der Transport auf dem Schienen- oder Wasserweg in Betracht gezogen werden.

In solchen Situationen ist es oftmals erforderlich, Umschlagplätze zur Zwischenlagerung mit entsprechender Be- und Entladetechnik anzulegen.

Um sicherzustellen, dass ausreichend Fläche für diese Einrichtungen zur Verfügung steht, ist eine geeignete Vorplanung erforderlich.

Unter bestimmten Umständen kann der Transport durch Fördereinrichtungen ein alternatives Transportmittel darstellen.

6.5.2 Transport auf dem Wasserweg

Der Transport von Material auf dem Wasserweg kann mit Leichtern erfolgen. Hierbei kann es sich um Klappschuten oder Deckschuten handeln, die entweder selbstfahrend sind oder durch Schleppboote gezogen werden.

Die Ausrüstung muss an die Wassertiefe und die Gezeiten angepasst sein.

Vorschriften zur Beförderung sind ebenso zu berücksichtigen wie Einschränkungen, z. B. Schleusen oder Brücken.

6.5.3 Transport auf dem Schienenweg

Oftmals wird der Transport auf dem Schienenweg in Betracht gezogen, wenn große Materialmengen über weite Entfernungen transportiert werden müssen oder wenn die Betriebsmittel vor Ort vorhanden sind und/oder wenn Gesichtspunkte hinsichtlich der Umwelt ausschlaggebend sind. Hierbei kann die Nutzung von Zügen mit einer Kapazität von bis zu 1 500 t mit offenen lokgezogenen Güterwagen (typische Kapazität 50 t) erforderlich sein und im Allgemeinen müssen an den Lade- und Entladepunkten großflächige behelfsmäßige Umschlagsplätze angelegt werden. Die Umschlagsplätze müssen über Nebengleise verfügen, die ein Be- und Entladen ohne Behinderung der Hauptgleise und der Verbindungen zu den Nebengleisen ermöglichen sowie über ausreichend große Flächen zur Lagerung der transportierten Materialien.

Bei Nutzung von Schienentransporten ist eine detaillierte Planung für die erforderlichen Zustimmungen und Genehmigungen der Bahnbetreiber im Vorfeld der Baumaßnahme erforderlich.

ANMERKUNG Die Größe und Komplexität dieser zeitweiligen Anlagen führt oftmals dazu, dass sich ein Schienentransport nur für sehr große Mengen oder über lange Strecken als wirtschaftlich erweist. Das Be- und Entladen aus dem/in den Haldenbereich für den darauffolgenden Transport auf die Baustelle (und von der Baustelle zur Halde) wird meistens mithilfe von Greifbaggern, mit Kippfahrzeugen oder Scrapern durchgeführt. In manchen Fällen kann sich die Verwendung von Portalkränen oder Selbstentladewagen als rentabel erweisen.

6.6 Transport von Materialien aus dem Tunnelbau

Geförderte Tunnelaushubmaterialien stellen spezifische Herausforderungen für das die Erdarbeiten ausführende Unternehmen dar, wenn sie vom Tunnelhersteller an die Oberfläche gefördert werden. Dieser Abschnitt beschreibt diese Herausforderungen.

Der Zustand des Aushubs aus Tunnelbauarbeiten steht in Abhängigkeit von der Boden- oder Felsart sowie dem eingesetzten Tunnelbauverfahren und dem Verfahren zum unterirdischen Transport. Im Wesentlichen gibt es drei Verfahren für den Aushub beim Tunnelbau:

- konventionelle Aushubverfahren (Teilschnittmaschinen, Hochlöffel, Bagger mit 360-Grad-Schwenkradius usw.);
- Sprengungen;
- Tunnelbohrmaschine (TBM).

Das wahrscheinlich schwierigste Material ist das, was durch eine TBM gewonnen wird, und die einzige Art von Bodenaushub, der an dieser Stelle beschrieben wird. Das Material, das mit den anderen beiden Verfahren ausgehoben wird, weist voraussichtlich vergleichbare Merkmale wie bei Aushubarbeiten in Einschnitten auf. Durch Tunnelbohrmaschinen wird der Boden oder Fels so zerkleinert, dass Körnung und Beschaffenheit im Vergleich zum natürlichen Zustand wesentlich verändert werden. Diese Tunnelbauverfahren stehen im Allgemeinen in Verbindung mit einem unterirdischen Transport durch Langstreckenförderer. Das Transportverfahren kann ebenfalls eine Veränderung der Merkmale von Böden hervorrufen.

Zur Erleichterung der unterirdischen Aushub- und Transportarbeiten werden dem Boden im Rahmen der Tunnelbaumaßnahmen oftmals Wasser und/oder spezielle Zusatzstoffe, wie z. B. Plastifizierungsmittel oder andere Mittel zur Konditionierung des Bodenaushubs, zugegeben. Bei der Förderung an die Oberfläche führen diese Mittel in Verbindung mit den Veränderungen des Materialzustands durch die vorstehend beschriebenen Aushub- und Transportfaktoren zu einem größtenteils strukturlosen Bodenaushub, der einen durch die Zugabe der Plastifizierungsmittel erhöhten Wassergehalt aufweist.

Unter extremen Bedingungen kann der Tunnelaushub wie Schlamm oder Brei sein. Durch eine rechtzeitige Vorplanung sowie durch Laborversuche kann eine Konditionierung des Bodenaushubs vereinbart werden, die eine bessere Materialgüte hervorbringt. Jedoch werden die Anforderungen an die Konditionierung oftmals durch die Umstände bestimmt, die während des Tunnelbaus eintreten, und der Ausführende der Erdarbeiten muss sich mit dem daraus ergebenden Bodenaushub so gut wie möglich arrangieren.

Die oberirdischen Erdarbeiten beginnen mit dem Verladen des Aushubs aus der Übergangsaufnahmehalde, auf der das ausgehobene Material vom Ausführenden der Tunnelarbeiten gelagert wurde, auf das Transportgerät, oftmals mithilfe von Radialabsetzern, die sich am Endpunkt der Langstreckenförderer an der Tunnel-einfahrt oder in Zwischenschächten befinden. Das Verladen des Aushubs aus der Übergangshalde, welches durch die Reichweite des Langstreckenförderers im Allgemeinen nur in begrenzten Mengen erfolgen kann, muss in ausreichender Geschwindigkeit durchgeführt werden, sodass sichergestellt werden kann, dass in der Halde stets ausreichend Lagerraum gegeben ist, um die angestrebte Geschwindigkeit des Tunnelaushubs zu erzielen.

Je nach Zustand des Aushubs in der Aufnahmehalde kann vor dem Transport eine Behandlung des Materials erforderlich sein. Das Ziel der Behandlung besteht in der Verringerung des Wassergehalts, sodass die Materialien für den Transport und die darauffolgende Nutzung geeignet sind. Da das ausgehobene Material oftmals in großen Mengen vorliegt und es sich bei den Aufnahmehalden um feststehende Standorte handelt, können für die Behandlung teilbewegliche, fest installierte Spezialgeräte und Einrichtungen verwendet werden, wie beispielsweise Bandpressen, Zentrifugen und dergleichen. Darüber hinaus kommen bei der Behandlung die gebräuchlichen Behandlungsverfahren mit beweglichen Mischmaschinen, die dem Boden Kalk, Zement oder ähnliche Bindemittel hinzufügen, zum Einsatz.

Der Transport des beim Tunnelbau ausgehobenen Materials, das sich in einem Zustand mit einem sehr hohen Wassergehalt befindet, kann auch hydraulisch erfolgen, d. h. durch Pumpen durch Rohrleitungen zum Lagerort. In diesem Fall können anstelle einer chemischen Behandlung am Lagerort Sedimentationsbecken in Betracht gezogen werden.

Bestimmte Mittel zur Konditionierung des Bodenaushubs haben eine begrenzte Wirkungsdauer und somit kann eine Verbesserung des Aushubs dadurch erreicht werden, dass das Material auf einer Halde gelagert wird, bis sich sein ursprünglicher Zustand wiederhergestellt hat. Hilfreich bei der Bewertung dieser Möglichkeit sind Laborversuche oder Versuche vor Ort.

Tunnelbaustellen befinden sich üblicherweise in städtischen Gebieten und zumeist in weiter Entfernung vom endgültigen Lagerort der Aushubmaterialien. Der Transport erfolgt deshalb zumeist über Straßen, auf dem Schienen- oder Wasserweg (LKW, Güterzug oder Leichter/Schiff) und die Transportgeschwindigkeit muss ausreichend sein, um der Geschwindigkeit des Tunnelbaus zu entsprechen. Die ausgewählte Transportart muss für die Handhabung der Aushubmaterialien geeignet sein, eine Vorbehandlung vor Ort kann eine Entscheidung aber erleichtern.

Es empfiehlt sich, am Standort der Lagerung nutzbringende Möglichkeiten zur Wiederverwendung des ausgehobenen Materials zu identifizieren. Die Schaffung von ökologischem Lebensraum, die Sanierung von Altlasten, der Bau von Entwicklungsflächen oder die Herstellung von Flächen für vorgesehene Infrastrukturen sind nur einige Beispiele.

7 Einbauen und Verdichten

7.1 Materialgruppen

Die Materialien, die in Aufschüttungen verwendet werden, sind im Allgemeinen vor Ort vorhandene Materialien aus den Aushubarbeiten auf der Baustelle und aus den Entnahmegruben.

Die Klassifizierung von Materialien ist in EN 16907-2 dargestellt. In Bezug auf das Verhalten von Materialien in Aufschüttungen können diese Klassen in größeren Gruppen zusammengefasst werden.

Das Material ist der Faktor, der bei der Auswahl des Verteilungs- und Verdichtungsverfahrens die größte Rolle spielt. Es werden drei Kategorien berücksichtigt, die in Gruppen aufgeteilt werden können, die wiederum die in der „Klassifizierung“ nach EN 16907-2 beschriebenen Klassen umfassen:

- feinkörnige und gemischtkörnige Materialien: Diese Materialien sind wasserempfindlich und ihr Verhalten verändert sich mit ihrem Wassergehalt. Ihre verschiedenen Zustände sind normal, trocken und feucht. Für eine ausführliche Definition dieser Zustände siehe informativen Anhang B, B.2. Diese Bodengruppensymbole sind I und F nach der Klassifizierung in EN 16907-2;
- grobkörnige Materialien, die sich folgendermaßen unterteilen lassen:
 - sehr grobkörnige Materialien (Bodengruppensymbole VC1 und VC2);
 - gut abgestufte Materialien, die weit gestufte, kiesige, grobkörnige Böden (Kies und Sand — Bodengruppensymbole G1 und S1) und gemischtkörnige Böden mit einer Ungleichförmigkeitszahl über 6 aus der in EN 16907-2 angegebenen Klassifizierung (Bodengruppensymbole G3 und S3) umfassen;
 - gleichförmige Materialien, die eng gestufte, kiesige, grobkörnige Böden (Bodengruppensymbole G2 und S2) und gemischtkörnige Böden mit einer Ungleichförmigkeitszahl unter 6 (Bodengruppensymbole G4 und S4) aus der in EN 16907-2 angegebenen Klassifizierung umfassen (dabei ist zu beachten, dass in Spezifikationen für Erdarbeiten häufig eine Ungleichförmigkeitszahl zwischen 10 und 15 verwendet wird, wie in B.3.4 beschrieben);
 - intermittierend gestufte Materialien;

ANMERKUNG Im informativen Anhang B wird die Definition für diese Materialgruppen angegeben und erläutert, und es werden Verfahren empfohlen und Hinweise gegeben, wie die jeweilige Materialgruppe in Dämmen zu verwenden ist.

- Felsgestein, das aufgrund seines Verhaltens nach dem Aushub und nach EN 16907-2 folgendermaßen eingeteilt werden kann:
 - Fels mit hoher bis äußerst hoher Festigkeit — Symbole R1, R2 und R3;
 - Fels mit mittlerer Festigkeit, quellfähiger oder veränderlich fester Fels — Symbole R4Cld (Tonstein) und R4 Xxd;
 - Fels mit mittlerer Festigkeit: weiteres Symbol R4;
 - Fels mit geringer Festigkeit: Symbol R5;
 - Kreide: Symbol CH.

Dieser Abschnitt behandelt keine nassgebagerten Materialien und keine mineralischen Abfälle, die in EN 16907-6 und EN 16907-7 beschrieben werden, und keine Böden mit mehr als 6 % an organischen Bestandteilen.

7.2 Spezifikationen des Verdichtungsverfahrens

Vor Beginn der Bauarbeiten sollte das Verdichtungsverfahren festgelegt werden. Die Vorgaben sollten sich auf eine Verfahrensspezifikation, eine Endproduktspezifikation oder eine Leistungsspezifikation beziehen.

In jedem Fall müssen die verwendeten Materialien und das angewendete Verfahren die folgenden Grundbedingungen erfüllen:

- Bau unter zulässigen Bedingungen;
- ausreichende Standsicherheit von Erdbauwerken;
- bei der Entwurfsplanung festgelegten, vertretbaren kurzfristigen und langfristigen Verformungen.

Es gibt drei verschiedene Verfahren der Verdichtungskontrolle:

- Anforderungen an das Verfahren: Die Vorgaben an das Verdichtungsverfahren beruhen auf Erfahrungswerten mit örtlich anstehenden Materialien und Witterungsbedingungen und auf technischen Leitfäden;
- Anforderungen an die fertige Leistung: Auflisten einer Reihe von Kriterien, die nach Fertigstellung der Schichten während der Bauarbeiten erreicht sein müssen;
- Anforderung an die Leistungsfähigkeit: Diese wird angegeben als der erforderliche Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit.

Diese Verfahren sind in EN 16907-1 festgelegt.

7.3 Vorbereitung der Aufschüttfläche

Im Allgemeinen müssen Bäume und Büsche vor den Bauarbeiten gefällt und zusammen mit den Baumstümpfen aus der Aufschüttfläche entfernt werden. Der Oberboden muss abgetragen und so gelagert werden, dass er einfach wiederverwendet werden kann.

Als allgemeine Regel gilt, dass das Freimachen der Baustelle zu Beginn der Erdarbeiten durchgeführt wird. Bei sehr weichen oder morastigen Böden kann eine Entfernung der Oberbodenschicht jedoch unzweckmäßig sein, da diese eine festere und weniger verformbare Bodenkruste als der Unterboden bilden kann. In diesen Fällen sowie in allen Fällen, in denen ein Erhalt der Oberbodenschicht von Vorteil ist, muss diese erhalten bleiben.

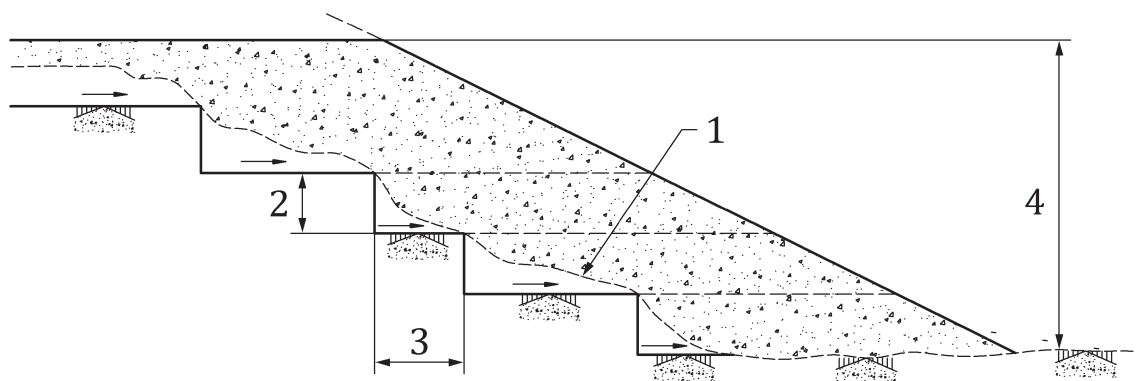
Darüber hinaus darf auf den Abtrag des Oberbodens im Rahmen der Entwurfsplanung verzichtet werden, wenn Setzungen, insbesondere daraus resultierenden Setzungen, im Vergleich zur Gesamtsetzung der Aufschüttung gering ausfallen sowie unter der Voraussetzung, dass ihr Vorhandensein kein Risiko für Instabilität darstellt.

ANMERKUNG Bei Aufschüttungen auf zusammendrückbarem Boden und auf Boden geringer Festigkeit, insbesondere bei organischem Boden oder in morastigem Gelände, kann die Vegetation beim Tragen der Erdbaumaschinen hilfreich sein und eine Verdichtung der Anfangsschichten erleichtern.

Nach dem Freimachen des Geländes muss der gewachsene Boden ausgehoben und auf das/die im Entwurf festgelegte Maß und Tiefe entnommen werden.

Sobald die Geländehöhe, die die Aufschüttung letztendlich tragen wird, erreicht wurde, sollte, sofern dies in der Entwurfsplanung festgelegt ist, der Baugrund auf die geforderte Tiefe gelöst und verdichtet werden, vorausgesetzt, diese Maßnahmen verschlechtern nicht die Beschaffenheit des natürlich gewachsenen tragenden Baugrunds. Das Aufreißen umfasst das Aufbrechen der Geländeoberfläche, die Trennung von der darunterliegenden Schicht mit Geräten wie Eggen, Grubbern oder Aufreißern und das darauffolgende Verdichten, um einen einheitlichen Untergrund mit den festgelegten Merkmalen zu erhalten, die seiner Funktion bei den Erdarbeiten entsprechen. Auf geneigtem Gelände müssen der Böschungsfuß der Aufschüttung und die Anfangsoberfläche so ausgebildet werden, dass die Aufschüttung standsicher ist.

Auf abfallendem oder geneigtem Baugrund kann vor der Aufschüttung eine Abtreppung (ein stufenförmiger Aushub) der Geländeoberfläche nach Bild 1 erforderlich sein. Das Grenzgefälle kann je nach den örtlichen Erfahrungen unterschiedlich sein (z. B. von 15 % bis 33 % oder 1V/3H). Die so entstehenden Bermen müssen von einem ausreichend festen Untergrund gestützt werden. Breite und Gefälle müssen so beschaffen sein, dass die Maschinen einfach darauf arbeiten können.



Legende

- 1 bestehendes Gelände
- 2 variable Bermenhöhe
- 3 variable Bermenbreite
- 4 Höhe der Aufschüttung

Bild 1 — Abtreppung für einen Damm auf geneigtem Gelände

ANMERKUNG Die Bermenhöhe kann zwischen 0,3 m und 1 m liegen.

Wenn die Aufschüttung auf einem Untergrund errichtet werden muss, das Oberflächenwasser enthält, ist das Wasser vor dem Beginn der Bauarbeiten vom Baugelände mithilfe von Anlagen wegzuleiten, die als Hilfsanlagen betrachtet werden dürfen und die für diese Art von Anlagen nach den Regelungen in der Entwurfsplanung errichtet werden müssen.

Wenn in der Planung vorgegeben, müssen Lagen aus grobkörnigem Material oder Geotextilien, die das Aufbringen der ersten Schicht ermöglichen, eingebaut werden.

Im Allgemeinen und insbesondere in Hanglagen, wo kurz- oder langfristig mit dem Auftreten von Wasser in der Aufstandsfläche zwischen Untergrund und Aufschüttung gerechnet werden muss, sind die erforderlichen Anlagen wie in der Planung vorgegeben durchzuführen, um eine Entwässerung des Bereiches sicherstellen zu können.

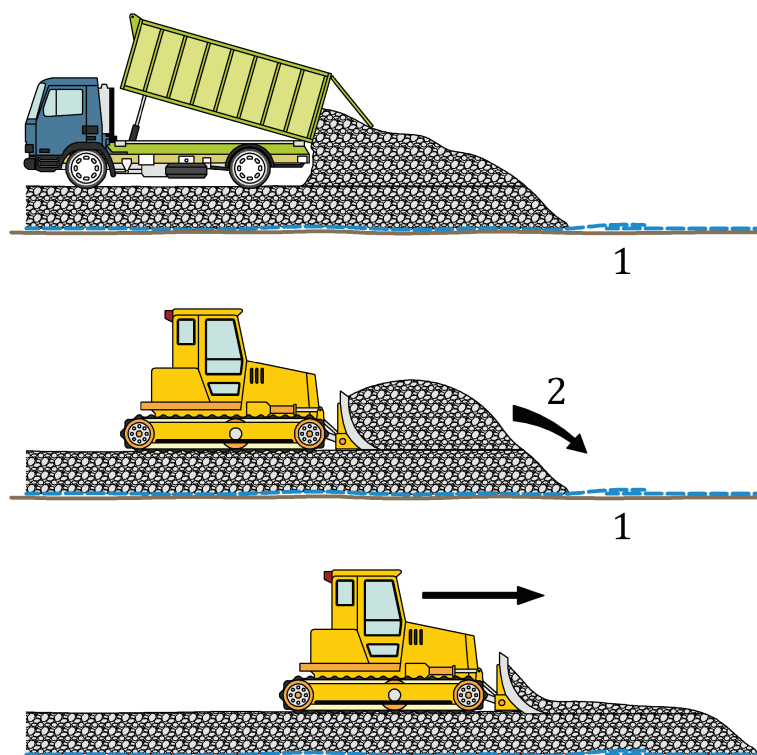
7.4 Verteilen

7.4.1 Allgemeines

Sobald die Vorbereitung des Untergrunds für die Aufschüttung abgeschlossen ist, muss die Lage unter Verwendung der festgelegten Materialien, die in aufeinanderfolgenden Schichten einheitlicher Dicke über die gesamte Breite des Damms und im Wesentlichen parallel zum späteren Erdplanum verteilt werden, aufgebracht werden.

Das grundlegende Ziel beim Verteilen besteht darin, eine ebene Lage in der geplanten Dicke zu erhalten. Je nach Materialart und Verdichtungsgerät kann die Lagendicke durch das Verdichtungsverfahren begrenzt sein. Auch sollte das Verteilungsverfahren die Entmischung auf ein Minimum herabsetzen und die Homogenisierung der Materialzusammensetzung sogar fördern.

Eine gängige Verfahrensweise zur Verringerung der Entmischung von felsigem Aufschüttmaterial und von grobkörnigen Materialien ist, das Material in einer Entfernung von einigen Metern zur Vorderkante der Schüttung abzuladen und von dort aus voranzuschieben, wie in Bild 2 gezeigt (ein Geotextil ist nicht immer erforderlich).



Legende

- 1 Geotextil (wahlweise)
- 2 Verteilen

Bild 2 — Gängige Verfahrensweise beim Verteilen von felsigem und grobkörnigem Aufschüttmaterial

Wenn ein Material nicht entmischungsanfällig ist, kann es an der Vorderkante der Aufschüttungsschicht abgekippt und anschließend von einer Planiermaschine verteilt werden.

Um bei unterschiedlichen Zusammensetzungen des Einbaumaterials eine gleichmäßige Dammszusammensetzung zu erhalten, sollte das Schüttmaterial in zur Bauwerksoberfläche parallel verlaufenden Schichten verteilt werden.

Die Verteilung muss so geplant und ausgeführt sein, dass eine Entmischung der Materialien in jeder Schicht verhindert wird; falls dies nicht gegeben ist, muss die Homogenität durch gründliches Vermischen der Materialien mit geeigneten Maschinen erreicht werden. Im Allgemeinen sollte entsprechend dem Verfahren mit Anforderungen an die fertige Leistung keine Lage verteilt werden, bevor die darunterliegende Oberfläche auf ihre Übereinstimmung mit den festgelegten Anforderungen überprüft wurde.

Während der Durchführung der Arbeiten müssen die Schichtoberflächen das notwendige Quergefälle, für gewöhnlich etwa 4 % sofern möglich, aufweisen, um eine Wasserableitung ohne Erosionsgefahr sicherzustellen und eine Pfützenbildung zu verhindern. In allen Fällen, in denen eine starke Erosion der Außenflächen der Aufschüttung erwartet wird, müssen an den Rändern der Schichten Erdwälle errichtet werden, die zusammen mit dem entsprechenden Längsprofil das Wasser in eigens dafür angeordnete Wassergräben ableiten.

Die angewendete Arbeitsweise muss sicherstellen, dass die Verdichtungsanforderungen über den gesamten Querschnitt des fertiggestellten Erdbauwerks erfüllt werden.

7.4.2 Verdichtung von Böschungsrändern

Zur Verdichtung der Böschungsränder des Damms können die folgenden Verfahren angewendet werden:

1. Verfahren mit überschüssiger Aufschüttung des Damms

Durch den Einbau einer zusätzlichen Dammbreite ist es nicht erforderlich, die Verdichtung mit dem Verdichtungsgerät unmittelbar am Böschungsrand auszuführen (siehe Bild 3).

Die im Überschuss hinzugegebene Materialmenge beträgt etwa 1 m über das Endmaß hinaus, d. h. es müssen bei einer Neigung von 3/2 nachträglich etwa 0,60 m des überschüssigen Materials von der Böschung abgetragen werden.

2. Verfahren mit Gegengefälle (W-Querprofil)

Bei diesem Verfahren wird am Böschungsrand des Damms ein Gegengefälle in der Breite des Planierschildes errichtet. Das Gefälle beträgt etwa 4 %.

Das Gegengefälle alleine reicht nicht aus, um dem Verdichtungsgerät eine Verdichtung des Bodens bis zum Böschungsrand zu ermöglichen, sodass für die Sicherstellung der Verdichtung und der Standsicherheit üblicherweise eine geringe zusätzliche Breite erforderlich ist. Diese Überbreite umfasst gewöhnlich 0,30 m an Material, das von der Böschung abgetragen werden muss.

Der Vorteil dieser Verfahrensweise liegt darin, dass es die Erosion durch den Oberflächenabfluss an der Böschung minimiert.

Der Hauptnachteil dieser Verfahrensweise betrifft die Entwässerung, welche stets durch längsseitig verlaufende leichte Gefälle erfolgen muss, um das Risiko einer Wassereinsickerung in den Damm zu vermeiden. Letztendlich wird der Damm so ausgeformt, dass das Wasser in behelfsmäßige Entwässerungskanäle entsprechend dem Arbeitsfortschritt des Erdbaus abgeleitet wird.