

DIN EN 16907-3

ICS 93.020

Einsprüche bis 2016-01-13

Entwurf**Erdarbeiten –
Teil 3: Ausführung von Erdarbeiten;
Deutsche und Englische Fassung prEN 16907-3:2015**

Earthworks –
Part 3: Construction procedures;
German and English version prEN 16907-3:2015

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2015-11-13 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 189 Seiten

DIN-Normenausschuss Bauwesen (NABau)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16907-3:2015) 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 der prEN 16907-3 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Erdarbeiten — Teil 3: Ausführung von Erdarbeiten

Earthworks — Part 3: Construction procedures

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe und Symbole	6
3.1 Begriffe	6
3.2 Symbole	8
4 Allgemeines	13
4.1 Grundvoraussetzungen für die Ausführung von Erdarbeiten.....	13
4.2 Klimatische Bedingungen.....	13
4.3 Umweltfaktoren.....	14
4.4 Verwendung wiederaufbereiteter Materialien/industrieller Nebenprodukte.....	15
5 Aushub.....	15
5.1 Allgemeines	15
5.2 Materialarten und Aushubtechniken.....	16
5.3 Besonderheiten bei Aushubarbeiten in Fels	17
5.4 Einfluss durch den Nutzungszweck des Aushubs	18
5.5 Schutz von Einschnitten während des Bauarbeiten	19
5.5.1 Standsicherheit während der Bauarbeiten.....	19
5.5.2 Abflussregelung/Entwässerung.....	19
5.5.3 Erosion.....	20
5.5.4 Frost/Witterung.....	20
5.6 Aushub unter Wasser	20
5.6.1 Allgemeines	20
5.6.2 Geräte.....	21
5.6.3 Toleranzanforderung.....	21
5.6.4 Unterwassersprengungen	21
5.6.5 Bauüberwachung und -kontrolle.....	22
5.6.6 Umweltschutz.....	22
5.6.7 Schädliche Auswirkungen auf Fischbestände	22
6 Transport.....	23
6.1 Allgemeines	23
6.2 Hauptsächliche Gerätetypen	23
6.3 Großerdbewegungen	24
6.3.1 Allgemeines	24
6.3.2 Transportarbeiten auf Untergrund oder Deckschicht.....	24
6.3.3 Transportstraßen.....	25
6.4 Art des Materials und Massenguttransport.....	26
6.4.1 Allgemeines	26
6.4.2 Staub.....	26
6.4.3 Schutz von bestehenden Bauwerken und erdverlegten Versorgungseinrichtungen.....	27
6.5 Lastkraftwagen.....	27
6.6 Alternative Transportverfahren	28
6.6.1 Allgemeines	28
6.6.2 Transport auf dem Wasserweg.....	28
6.6.3 Transport auf dem Schienenweg.....	28

6.7	Transport von Materialien aus dem Tunnelbau	28
7	Auffüllen und Verdichten	30
7.1	Allgemeines	30
7.2	Gesichtspunkte hinsichtlich der Dammhöhe	31
7.3	Materialgruppen	31
7.4	Festlegung der Verdichtungsspezifikationen	32
7.4.1	Allgemeines	32
7.4.2	Verfahrensspezifikation	32
7.4.3	Endproduktspezifikation	32
7.4.4	Leistungsspezifikation	33
7.5	Vorbereitung der Auffüllfläche	33
7.6	Besondere Problemstellungen bei der Bauausführung	34
7.7	Verteilen	35
7.8	Verdichten	39
7.8.1	Allgemeines	39
7.8.2	Typen von Verdichtungsgeräten	39
7.8.3	Auswahl des Verdichtungsgeräts	40
7.9	Auffüllungen unter Wasser	41
7.9.1	Allgemeines	41
7.9.2	Ausführung	41
7.9.3	Auffüllmaterial	42
7.9.4	Dambböschungen	43
7.9.5	Austausch/Verdrängung von weichem Boden	44
8	Erdbauplanum (Bodenplanum und Unterbau)	44
8.1	Allgemeines	44
8.2	Untergrund	45
8.3	Deckschicht	45
	Anhang A (informativ) Verwendungsbedingungen für die Hauptgruppen der Materialien	47
A.1	Einleitung	47
A.2	Feinkörnige und gemischtkörnige Materialien	47
A.2.1	Gesichtspunkte hinsichtlich der Klassifizierung	47
A.2.2	Definition der Zustände von feinkörnigen und gemischtkörnigen Böden	48
A.2.3	Allgemeine Gesichtspunkte zum Bau	49
A.2.4	Feinkörnige und gemischtkörnige Materialien — trockene und normale Zustände	50
A.2.5	Feinkörnige Materialien — nasser Zustand	54
A.3	Grobkörnige Materialien	59
A.3.1	Allgemeines	59
A.3.2	Sehr grobkörniges Material	59
A.3.3	Grobkörniges Material	60
A.3.4	Gesichtspunkte bei Entwurf und Bemessung	61
A.3.5	Gesichtspunkte bei der Bauausführung	63
A.3.6	Gesichtspunkte hinsichtlich Qualitätssicherung und Qualitätssteuerung	64
A.4	Brüchiger Fels, mittelfester und veränderlich fester Fels	64
A.4.1	Gesichtspunkte hinsichtlich des Verhaltens	64
A.4.2	Gesichtspunkte bei Entwurf und Bemessung	65
A.4.3	Aushub und Transport	65
A.4.4	Zusätzliche Baumaßnahmen	66
A.4.5	Bau von Dämmen	66
A.4.6	Gesichtspunkte hinsichtlich Qualitätssicherung und Qualitätssteuerung	66
A.5	Festes Felsgestein	67
A.5.1	Gesichtspunkte hinsichtlich der Klassifizierung	67
A.5.2	Gesichtspunkte bei Entwurf und Bemessung	67
A.5.3	Aushub und Transport	67
A.5.4	Bau von Dämmen	68

A.5.5	Zusätzliche Parameter	68
A.6	Kreide.....	68
A.6.1	Allgemeines	68
A.6.2	Gesichtspunkte hinsichtlich des technischen Verhaltens	69
A.6.3	Gesichtspunkte bei Entwurf und Bemessung.....	69
A.6.4	Aushub und Transport.....	71
A.6.5	Einbau und Verdichtung	72
A.6.6	Gesichtspunkte hinsichtlich Qualitätssicherung und Qualitätssteuerung.....	73
A.6.7	Zusätzliche Leitlinien für Erdarbeiten mit Kreide	73
A.7	Verwendung von ariden Böden	75
A.7.1	Vorteile und Grundlagen von Trockenverdichtungen.....	75
A.7.2	Definition von ariden Böden — Anwendungsbereich des Verfahrens	76
A.7.3	Besonderheiten der Trockenverdichtung.....	77
A.8	Tropische Verwitterungsböden	78
A.8.1	Allgemeines	78
A.8.2	Problemstellungen bei der Ausführung von Erdarbeiten	79
A.8.3	Tropische Verwitterungsböden auf Eruptivgestein	79
A.8.4	Tropische Verwitterungsböden auf ophiolithischem Gestein	80
A.9	Lösliche Salze	80
A.9.1	Definition.....	80
A.9.2	Lösliche Salze: Prüfverfahren zur Identifizierung	81
A.9.3	Mögliche Problemstellungen bei der Ausführung von Erdarbeiten	81
A.9.4	Praktische Regeln für den Einsatz wasserlöslicher Materialien.....	82
A.10	Aktivtone	83
A.10.1	Definition.....	83
A.10.2	Prüfverfahren zur Identifizierung.....	84
A.10.3	Identifizierung des Quellrisikos.....	84
A.10.4	Mögliche Problemstellungen bei der Ausführung von Erdarbeiten	86
A.10.5	Praktische Regeln für den Einsatz von Aktivtonen.....	87
A.11	Dämme auf Dauerfrostboden.....	88
Anhang B (informativ) Baumaschinentypen für Aushubarbeiten		91
B.1	Tieflöffelbagger mit 360-Grad-Schwenkradius.....	91
B.2	Hochlöffelbagger mit 360-Grad-Schwenkradius	91
B.3	Kettenfrontlader/Radfrontlader	92
B.4	Scraper.....	92
Anhang C (informativ) Typen von Transportgeräten		94
Anhang D (informativ) Beispiele nationaler Praktiken		95
D.1	Befahrbarkeitsgrenzen in Frankreich und Großbritannien	95
D.2	Spanische Praxis bei feinkörnigen Böden in normalem und trockenem Zustand	95
D.3	Französische Praxis bei brüchigem Gestein	96
D.4	Schwedische Praxis bei nassen feinkörnigen Böden (mit Wartezeit)	97

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 16907-3:2015) 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 Produktnormen 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 Auffüllmaterial*
- *Teil 7: Hydraulische Einbringung von mineralischen Abfällen*

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm beschreibt die Verfahren für den Aushub, Transport und Einbau von Böden und Fels für die Ausführung von Erdbauwerken. Sie behandelt ebenfalls den Aushub und Einbau von Felsmaterialien unter Wasser.

Das Nassbaggern von Böden und die damit verbundenen Auffüllungen im Spülverfahren sind durch Teil 6 dieser Normenreihe abgedeckt.

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

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).

Für die normativen Verweisungen wird auf Teil 1 dieser Norm verwiesen.

3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1 Begriffe

3.1.1

Erdarbeiten

bautechnisches Verfahren zur Veränderung der Geometrie der Geländeoberfläche durch die Errichtung stabiler und dauerhafter Erdbauwerke (Einschnitte, Dämme oder ingenieurmäßige Auffüllungen)

3.1.2

Erdbauwerk

Tiefbauwerk, bestehend aus Böden, Fels, Nebenprodukten oder wiederaufbereiteten Materialien aus Erdarbeiten

3.1.3

Bemessung von Erdarbeiten

Festlegung des Ausführungsprozesses zur Fertigstellung eines festgelegten Erdbauwerks

3.1.4

Materialien

sämtliche bei Erdarbeiten bearbeitete Böden, Fels, Nebenprodukte und wiederaufbereitete Materialien

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff Materialien umfasst keine Bindemittel, Geokunststoffe und andere Materialien, die durch ihren Eigennamen gekennzeichnet werden.

3.1.5

Damm

alle Erdbauwerke, die durch den Einbau ingenieurmäßiger Auffüllungen (einschließlich der Verfüllung großer Baugruben sowie durch Ausbaggern entstandene Erdbauwerke) entstehen

3.1.6

Dammzone

Unterteilung von Dämmen, beispielsweise in Dammsohle, Dammkern, Dammschultern und obere Dammzone

3.1.7

Oberbau

sämtliche Arten von Tiefbauten, die auf einem Damm eingebaut werden (Straßen, Schienen, Gebäude, usw.)

3.1.8

Deckschicht

spezielle Übergangsschicht, Teil der oberen Zone, die unterhalb des Oberbaus eingebaut wird

3.1.9

Befahrbarkeit

Fähigkeit einer Materialoberfläche, der Befahrung durch Erdbaumaschinen standzuhalten (Niall, muss noch fertiggestellt werden)

3.1.10

Sättigungsgrad

Verhältnis des Porenwasservolumens zum Porenvolumen

3.1.11

Luftporengehalt

Verhältnis des Luftvolumens zum Gesamtvolumen des Bodens (Feststoffe, Wasser und Luft). Der Luftporengehalt einer verdichteten Schicht kann bestimmt werden, indem die Trockenwichte, der Wassergehalt im Feld und die Kornwichte gemessen werden

3.1.12

Wassergehalt

Verhältnis der Masse des Wassers in einer bestimmten Probe zur Masse des trockenen Bodens

3.1.13

Trockendichte

Quotient aus der Masse der festen Bestandteile und dem Gesamtvolumen einer Probe

3.1.14

maximale Trockendichte

im Referenz-Verdichtungsversuch erhaltener Höchstwert der Trockendichte (normaler oder modifizierter Proctorversuch, Verdichtung mit Vibrationshammer oder jeder andere Verdichtungsversuch). Dieser Wert steht im Zusammenhang mit einem Wassergehalt, der auch als optimaler Wassergehalt bezeichnet wird

3.1.15

optimaler Wassergehalt

Wassergehalt, bei dem eine Bodenmasse durch eine festgelegte Verdichtungsarbeit auf ihre maximale Trockendichte verdichtet werden kann

3.1.16

feinkörniger Boden

Boden mit einem Feinkornanteil (Materialien, die durch ein Sieb mit 63 Mikrometer Maschenweite hindurchgehen) von mindestens 15 %, in Abhängigkeit von nationalen Praktiken

3.1.17

aktiver feinkörniger Boden

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

3.1.18

grobkörniger Boden

im Rahmen von Teil 3 dieser Norm umfasst der Begriff grobkörniger Boden sehr grobkörnige, grobkörnige und gemischtkörnige Böden entsprechend der in Teil 2 dargestellten Klassifizierung. Ein Material mit einem Feinkornanteil (je nach nationalen Praktiken definiert als $63 \mu\text{m}$) von höchstens 15 % (in Abhängigkeit von nationalen Praktiken). Diese Materialien weisen üblicherweise eine geringe oder keine Wasserempfindlichkeit auf, außer, sie enthalten aktive tonhaltige Bestandteile

3.1.19

brüchiger Fels

Gestein, das während der Erdarbeiten zerfällt (d. h. eine große Bandbreite an Korngrößen und Feinkörnern aufweist) oder während der Nutzungsdauer des Erdbauwerkes verändert. Der Begriff umfasst brüchiges und mittelfestes Gestein entsprechend der Klassifizierung in Teil 2

3.1.20

fester Fels

Gestein, dessen Zerfall während der Erdarbeiten oder langfristig betrachtet unbedeutend ist

3.1.21

nichttragende Auffüllung

Auffüllung, das nicht zum Tragen einer Infrastruktur (wie z. B. Verkehrswege, Schienenwege, Parkplätze, Wände, Bauwerke oder Gebäude) vorgesehen ist und deren Setzungen daher keinen wichtigen Untersuchungspunkt darstellen

3.2 Symbole

Symbole finden sich in der nachstehenden Tabelle. Die Prüfergebnisse (Parameter) sind je nach Prüfung unterschiedlich.

Die den Symbolen zugehörigen Abkürzungen können in verschiedenen Sprachen unterschiedlich sein.

Tabelle 1

Beschaffenheit	Benennung	Abkürzung*	Symbol	Einheit
Beschreibung des Bodens				
Parameter	Porosität	keine	n	dimensionslos
Parameter	natürlicher Wassergehalt	keine	w_n	dimensionslos
Parameter	Wassergehalt	keine	w	dimensionslos
Parameter	natürlicher Wassergehalt	keine	w_n	dimensionslos
Parameter	Sättigungsgrad	keine	S_r	dimensionslos
Parameter	Luftpore	keine	a_v	dimensionslos
Parameter	Luftporengehalt = Luftvolumen/Gesamtvolumen	keine	n_a	dimensionslos
Parameter	maximal zulässiger Luftporengehalt	keine	$n_a(\text{GER})$	dimensionslos %
Parameter	Luftporenzahl = Luftvolumen/Poren- volumen	keine	$S_{ra} = 1 - S_r$	dimensionslos
Parameter	Dichte des Bodens	keine	γ_h	kN/m^3

Beschaffenheit	Benennung	Abkürzung*	Symbol	Einheit
Parameter	Wichte	keine	γ	kN/m ³
Parameter	Dichte	keine	ρ	t/m ³
Parameter	(relative) Dichte = $\gamma/\gamma_w = \rho/\rho_w$	keine	G	dimensionslos
Parameter	Trockenwichte	keine	γ_d	kN/m ³
Parameter	Trockendichte (en: dry (mass) density)	keine	ρ_d	t/m ³
Parameter	Trockendichte in situ Kann „natürliche Trockendichte“ sein	keine	ρ_{dn}	t/m ³
Parameter	Trockenwichte in situ	keine	γ_{dn}	kN/m ³
Begriff	Korngrößenverteilung	PSD (en: particle size distribution)		
Parameter	Maximale Abmessung der größten im Boden enthaltenen Bestandteile	keine	D_{max}	(mm)
Parameter	Korngröße, bei der x % kleiner sind als D_{10} , D_{30} , D_{60} , D_{95}	keine	D_x	(mm)
Parameter	Ungleichförmigkeitszahl	keine	C_U	dimensionslos
Parameter	Krümmungszahl	keine	C_C	dimensionslos
Parameter	Anteil an Bestandteilen kleiner als x (mm) $C_{2\ \mu m}$, $C_{63\ \mu m}$, $C_{80\ \mu m}$, C_{2mm} , usw.	keine	C_x	dimensionslos %
Parameter	Ausrollgrenze	keine	w_p	dimensionslos %
Parameter	Fließgrenze	keine	w_L	dimensionslos %
Mechanische Eigenschaften von Böden				
Parameter	Plastizitätszahl	keine	I_p	dimensionslos %
Parameter	Konsistenzzahl	keine	I_c	dimensionslos
Prüfung	Methylenblau-Prüfung	MBT		
Parameter	Methylenblau-Wert (Kornfraktion 0/50 mm)	keine	V_{BS}	g/100 g
Parameter	Gehalt an organischen Bestandteilen	keine	C_{OM}	dimensionslos %

Beschaffenheit	Benennung	Abkürzung*	Symbol	Einheit
Parameter	Gehalt an löslichen Salzen	keine	C_{salt}	dimensionslos %
Parameter	SO ₄ -Gehalt	keine	C_{SO_4}	dimensionslos %
Parameter	einaxiale Druckfestigkeit	UCS (en: unconfined compressive strength)		
Parameter	wirksame Kohäsion	keine	c'	KPa
Parameter	Winkel der inneren Reibung	keine	φ'	Grad
Parameter	Druck- oder Zugfestigkeit	keine	R	MPa
Parameter	Druck- oder Zugfestigkeit nach Eintauchen in Wasser	keine	R_i	MPa
Parameter	Festigkeitsverhältnis nach Eintauchen in Wasser (R_i/R)	keine	I_r	dimensionslos
Parameter	Druckfestigkeit	keine	R_c	MPa
Parameter	Zugfestigkeit	keine	R_t	MPa
Parameter	indirekte Zugfestigkeit	keine	R_{tb}	MPa
Parameter	Elastizitätsmodul	keine	E	MPa
Parameter	Elastizitätsmodul bei Druck	keine	E_c	MPa
Parameter	Elastizitätsmodul bei direktem Zug	keine	E_t	MPa
Parameter	Elastizitätsmodul bei indirektem Zug	keine	E_{it}	MPa
Parameter	Poissonzahl	keine	ν	dimensionslos
Spezielle Prüfungen für Erdarbeiten				
Prüfung	normaler Proctorversuch	SPT (en: standard proctor test)		
Prüfung	modifizierter Proctorversuch	MPT (en: modified proctor test)		
Parameter	optimaler Wassergehalt	OMC (en: optimum water content)	w_{OPN}	dimensionslos

Beschaffenheit	Benennung	Abkürzung*	Symbol	Einheit
Parameter	optimale Trockendichte	ODD (en: optimum dry density)		dimensionslos
Parameter	maximale Trockenwichte (OPN, en: optimum proctor normal)	keine	$\gamma_{dmaxOPN}$	kN/m ³
Parameter	maximale Trockendichte (OPN, en: optimum proctor normal)	keine	$\rho_{dmaxOPN}$	t/m ³
Parameter	maximale Trockenwichte (OPM, en: optimum proctor modified)	keine	$\gamma_{dmaxOPM}$	kN/m ³
Parameter	maximale Trockendichte (OPM, en: optimum proctor modified)	keine	$\rho_{dmaxOPM}$	t/m ³
Parameter	Wassergehalt bei Optimalwert der einfachen/ Standard-Proctordichte	OMC	w_{OPN}	dimensionslos
Parameter	Wassergehalt bei Optimalwert der modifizierten Proctordichte	OMC	w_{OPM}	dimensionslos
Spezielle Prüfungen für Erdarbeiten				
Parameter	Anteil x % der maximalen Trockendichte auf der Referenz-Proctorkurve	keine	x % $\rho_{dmaxOPN}$	t/m ³
Parameter	Verdichtungsgrad = γ_d/γ_{dmax}	keine	D_{Pr}	dimensionslos %
Begriff	California Bearing Ratio	CBR		
Prüfung	CBR-Versuch (durchnässt oder nicht durchnässt)	CBR		
Parameter	CBR-Index		I_{CBR}	dimensionslos %
Parameter	CBR-Index bei Unterwasserlagerung		I_{CBRi}	dimensionslos %
Begriff	direkter Tragindex	IBI (en: immediate bearing index)		
Prüfung	Prüfung zur Bestimmung des direkten Tragindex	IBI		
Parameter	IBI-Index		I_{IBI}	dimensionslos
Prüfung	Los-Angeles-Versuch	LA		
Parameter	Los-Angeles-Koeffizient		C_{LA}	dimensionslos
Prüfung	Micro-Deval-Prüfung	MDE		
Parameter	Micro-Deval-Koeffizient bei Vorhandensein von Wasser		C_{MDE}	dimensionslos
Prüfung	Prüfung der Brechbarkeit	FR (en:		

Beschaffenheit	Benennung	Abkürzung*	Symbol	Einheit
		fragmentability)		
Parameter	Brechbarkeitskoeffizient		I_{FR}	dimensionslos
Parameter	Koeffizient der Bröckeligkeit von feinen Gesteinskörnungen		I_{FS}	dimensionslos
Prüfung	Prüfung der Abbaubarkeit	DG (en: degradability)		
Spezielle Prüfungen für Erdarbeiten				
Parameter	Koeffizient der Abbaubarkeit		I_{DG}	
Parameter	Lineare Schwellverformung in CBR-Form		ε_{sw} oder ε_g	dimensionslos
Parameter	Volumetrische Schwellverformung in CBR-Form		ε_{vsw} oder ε_{vg}	dimensionslos %
Parameter	Sackung und Setzung (Oedometer) ESP			
Parameter	lineare Ausdehnung (Oedometer) ESP			
	Feuchtigkeitszustands-Wert	MCV (en: moisture condition value)		
Begriff	flächendeckende Verdichtungskontrolle	FDVK		
Zusätzliche Prüfungen				
Prüfung	Drucksondierung	CPT (en: cone penetrometer test)		
Prüfung	Rammsondierung	DPT (en: dynamic cone penetration test)		
Prüfung	Standard Penetration Test	SPT		
Parameter	Plattendruckversuch Verformungsmodul E_{V1}		E_{V1} (M1)	MPa

Beschaffenheit	Benennung	Abkürzung*	Symbol	Einheit
Parameter	Plattendruckversuch Verformungsmodul E_{V2}		E_{V2} (M2)	MPa
Parameter	Verdichtungswellengeschwindigkeit		V_p	m/s
Parameter	Scherwellengeschwindigkeit		V_s	m/s
Parameter	Punktlastindex		I_{s50}	MPa
Weitere Prüfungen				
Parameter	Pulverisierung		P	%
Parameter	Feuchtigkeitsindex Thorntwaite	nach	I_m	

4 Allgemeines

4.1 Grundvoraussetzungen für die Ausführung von Erdarbeiten

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

Bevor ein Abschnitt der Erdarbeiten begonnen wird, muss die Bemessung für jeden Arbeitsabschnitt fertiggestellt sein, einschließlich einer Bewertung der verfügbaren Materialien und ihrer Eignung (siehe Teil 1 und 2 dieser Norm).

4.2 Klimatische Bedingungen

Bevor mit der Ausführung von Erdarbeiten begonnen wird, müssen die an der Baustelle vorherrschenden klimatischen Bedingungen berücksichtigt werden. Jahreszeitliche klimatische Veränderungen können einschränkende Faktoren bei Erdarbeiten darstellen.

Während Niederschlagsperioden sollte eine Aussetzung der Erdarbeiten in nässeempfindlichen Materialien in Erwägung gezogen werden. Falls notwendig, sollten die Geländeoberflächen abgedichtet werden, um ein Eindringen von Wasser zu verhindern.

Bei trockenen klimatischen Bedingungen 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 jahreszeitlichen klimatischen Bedingungen variieren. So kann beispielsweise ein gefrorener Baugrund als zeitweilige Arbeitsebene dienen, durch die weicher Boden besser ausgehoben werden kann.

4.3 Umweltfaktoren

Sämtliche Erdarbeiten können durch Regelungen zum Umweltschutz eingeschränkt werden und erfordern Genehmigungen.

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

Die zu berücksichtigenden Umweltfaktoren sind, wie folgt:

Verunreinigungen — Bestehen innerhalb eines Aushubs verunreinigte Bereiche, sollten sämtliche Tätigkeiten dahingehend überwacht werden, dass eine weitere Verunreinigung des umgebenden Bodens verhindert wird. Die Handhabung von verunreinigten Materialien sollte gesondert erfolgen, und falls eine Haldenlagerung vorgesehen ist, sollte die Oberfläche, auf der sie eingebracht werden, 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.

Zur Handhabung der verunreinigten Materialien sollten geeignete Geräte ausgewählt werden. Diese Geräte sind oftmals kleiner, als die bei Massengutarbeiten eingesetzten Geräte.

Lärm — Rezeptoren, wie z. B. Wohnhäuser, die sich in Hörweite des Aushubs befinden sollten berücksichtigt werden. Vor Beginn der Erdarbeiten sollte eine Bewertung der Geräuschemissionen der verschiedenen Erdbaumaschinentypen sowie Messungen des Hintergrund-Geräuschpegels durchgeführt werden.

Eingeschränkte Arbeitszeiten und die Errichtung zeitweiliger Schallwände durch Erdwälle oder Umzäunungen sollten in Betracht gezogen werden.

Staub — Durch Erdarbeiten kann sich Staub entwickeln, insbesondere in feinkörnigen Böden unter trockenen Wetterbedingungen.

Die Staubbildung sollte durch Besprühen der freiliegenden Oberflächen mit Wasser kontrolliert werden. Wenn die freiliegenden Oberflächen mit Oberboden bedeckt, und im fortschreitenden Verlauf der Arbeiten besät werden, wird das Potential für eine Staubbildung begrenzt.

Gewässerschutz — Die wahrscheinlichste Ursache für Verschmutzungen durch Erdarbeiten liegt in der Verschlammung von Fließgewässern durch unkontrolliertes Abfließen von schluffhaltigem Wasser. Bei der Planung der Erdarbeiten muss demzufolge die vorgesehene Wasserhaltung bedacht werden. Die Errichtung von Absetzteichen und der Einsatz von Schluffzäunen können Maßnahmen zur Lenkung sein.

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

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

4.4 Verwendung wiederaufbereiteter Materialien/industrieller Nebenprodukte

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

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

Die gesetzgeberischen Aspekte betreffen die Vergabe von Umweltlizenzen und Abfalllizenzen, durch die die Verwendung solcher wiederaufbereiteter Materialien und Nebenprodukte geregelt wird. Um Umweltschäden 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 Umweltschäden, die diese Materialien sowohl während der Ausführungsphase der Erdarbeiten, als auch während der Nutzungsphase der Erdbauwerke darstellen, sollte eine Verwendung gründlich überprüft werden. Oftmals stehen diese Umweltschäden in Zusammenhang mit Luftverschmutzung durch Staub sowie der Verschmutzung von Grund-/Oberflächenwasser durch Sickerwasser.

Die geotechnischen Aspekte beziehen sich auf die einzigartigen Merkmale der wiederaufbereiteten Materialien und Nebenprodukte. 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 langfristige Beständigkeit in physikalischer wie chemischer Hinsicht gelegt werden, da insbesondere industrielle Nebenprodukte anfällig für eine allmähliche chemische Zersetzung sein können, die zu einem Versagen des Bauwerks führen kann. Es sollten Prüfsysteme festgesetzt werden, mit denen die Beschaffenheit der Materialien festgestellt, und ihre Konsistenz während der Verwendung überprüft werden kann.

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

5.1 Allgemeines

Der Aushub bei Erdarbeiten ist der Prozess der Ausbildung 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 Laden ist ein integrierter Prozess. Dieser Abschnitt legt die Hauptgesichtspunkte hinsichtlich Aushub (und Laden) 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 sind, als auch, dass der Aushub sicher und effizient durchgeführt werden kann, während Aushubsohle/Planum und der umgebende Baugrund durch den Aushubprozess unversehrt bleiben.

Aushubarbeiten sollten nicht begonnen werden, bevor der zu verfüllende Bereich für die Aufnahme des Materials bereit ist, oder bevor ein geeigneter zeitweiliger Haldenbereich verfügbar ist.

Falls das im Einschnitt befindliche Material unter kälteren Klimabedingungen empfindlich gegenüber Frostaufbruch reagiert und der Frost mehr als 0,5 m in das Material des fertiggestellten Bauwerks eindringt, sollten Felsblöcke 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 A) wird die Art und die Geschwindigkeit des Aushubs festgelegt. Vor Beginn der Aushubarbeiten ist deshalb die Identifizierung der auszuhebenden Materialien von grundlegender Bedeutung.

Falls ein Aushub unterschiedliche Materialien enthält, sollte die Notwendigkeit einer Trennung der verschiedenen Körnungen überdacht werden.

In Tabelle 2 sind die hauptsächlichen Materialarten (nach Anhang A) und die jeweils geeigneten Aushubtechniken festgelegt.

Tabelle 2

Materialart	Mögliches Aushubverfahren	Vorbehandlung
Feinkörnig (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 der Materialien zu unterstützen kann eine Wasserhaltung 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) werden in Anhang B beschrieben.

Durch den Einsatz großer Hydraulikbagger, die über eine große Reißkraft verfügen, können Sprengarbeiten vermieden werden.

Für Ausschachtungen in torfigen oder sehr mageren Böden sind oftmals spezielle Aushubgeräte, wie beispielsweise Bagger für große Reichweiten/Bagger mit geringem Bodendruck oder Eimerseilbagger erforderlich. Die ersteren bieten auch Vorteile bei Aushubarbeiten in Bereichen, die nur schwer zugänglich sind sowie in Baugrundverhältnissen, in denen die Arbeiten in Hinblick auf die Festigkeit nur eingeschränkt stattfinden können.

5.3 Besonderheiten bei Aushubarbeiten in Fels

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

Bei Erdarbeiten ist es sehr wichtig, eine Vorhersage über den Schwierigkeitsgrad des Aushubs von Fels und Felsmassen treffen zu können. Es wurden unterschiedliche Begriffe in Bezug auf die Grundsätze des Aushebens und die Bruchmechanik verwendet, um den Aushub 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, verwitterte Teile von festem Fels);
- c) Sprengen, bei sehr schwierigen Aushubbedingungen (fester Fels).

Die Bewertungen zur Feststellung eines niedrigen oder hohen Schwierigkeitsgrades, in dem eine Felsmasse ausgehoben werden kann, beruhen auf der Berücksichtigung folgender Punkte:

- 1) das Felsmaterial, aus dem die Böcke innerhalb der vor Ort vorhandenen Felsmasse bestehen (da der Aushub von großen Felsblöcken die Zersplitterung und den Bruch des Felsmaterials zur Folge hat);
- 2) Beschaffenheit, Ausmaß und Richtung der Brüche;
- 3) die geologische Struktur in Bezug auf Falten und Verwerfungen.

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

- Beschreibung des Felsgesteins (siehe Teil 2 dieser Norm);
- 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, Brüchen, 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., die die Auswahl des Aushubverfahrens beeinflussen könnten.

Falls Sprengarbeiten erwartet werden, sollten zusätzliche Angaben eingeholt werden:

- ggf. 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.

Darüber hinaus können folgende Angaben maßgeblich sein:

- maximale Teilchengeschwindigkeit für jeden Frequenzbereich;
- ggf. Ergebnisse aus Testsprengungen;
- erwartete Schwankungen in der Deckschicht der zu sprengenden Felsmasse;
- maximale zulässige Größe von Felsblöcken in Füllmaterial oder andere Festlegungen auf der Körnungslinie;
- Empfindlichkeit von Umwelt und benachbarter Umgebung.

5.4 Einfluss durch den Nutzungszweck des Aushubs

Die vorgesehene Nutzung des ausgehobenen Materials beeinflusst das Aushubverfahren. Bei Materialien, die für die Verwendung in einer tragenden Auffüllung (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 Auffüllfläche geeignet bleiben.

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

ANMERKUNG Andererseits müssen Materialien, die für nichttragende Auffüllungen (wie z. B. in Landschaftsgebieten, oder für eine Beseitigung außerhalb) 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 bei schlechteren Materialien eine Verbesserung der Güte zu erreichen und somit die Eignung eines andernfalls ungeeigneten Materials herzustellen.

5.5 Schutz von Einschnitten während des Bauarbeiten

5.5.1 Standsicherheit während der Bauarbeiten

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. Aushubwände, 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 des Böschungsabsatzes in Betracht gezogen werden; beim Aushub einiger Felsarten darf diese 5 m überschreiten.

Bei weichem Ton können für senkrechte oder steile Aushubwände strenge Einschränkungen gelten, wobei die Höhe üblicherweise auf 2 m oder 3 m begrenzt wird. Bei Festlegung der Höhe der Aushubwand sollte sich das Hauptaugenmerk auf die tatsächlichen Baugrundverhältnisse für jeden einzelnen Aushub richten.

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

Die Notwendigkeit einer Überwachung der Standsicherheit des Aushubs oder benachbarter Bauwerke sollte überdacht werden.

5.5.2 Abflussregelung/Entwässerung

Aushubarbeiten sollten so geplant werden, dass die auszuhebenden Materialien 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 Regenwasser („Oberflächenwasser“). In manchen Fällen tritt Grundwasser auch oberhalb des Grundwasserspiegels auf, wenn innerhalb eines nicht wasserführenden Bodens wasserführende Bodenlinsen auftreten. Im Allgemeinen wird dieser Umstand als „gespanntes Grundwasser“ beschrieben.

Falls der Wasserabfluss in einer Abtragung nicht geregelt wird, können Schäden oder Bodenerosion auftreten.

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

Es muss stets Sorge getragen werden, dass geeignete Anlagen für den Wasserabfluss vorhanden sind, um Umweltschäden zu vermeiden.

ANMERKUNG Die Abflussregelung wird üblicherweise durchgeführt, indem eine Form der Abtragung sichergestellt wird, die einer Pfützenbildung entgegenwirkt sowie durch den Einbau von Gräben/Rinnen/Abwasserleitungen und ähnlichen Vorrichtungen. In einigen Fällen werden diese Freispiegelsysteme durch eine Entwässerung mittels Pumpen unterstützt.

Bei Baugruben, die sich bis unter den Grundwasserspiegel erstrecken, ist es oftmals erforderlich, den Grundwasserspiegel vor Beginn der Aushubarbeiten künstlich abzusenken. Für solche Zwecke gibt es urheberrechtlich geschützte 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 Verhaltenseigenschaften der auszuhebenden Materialien.

5.5.3 Erosion

Ausgehobene Böschungen, insbesondere in Abtragungen, die feinkörnige Böden enthalten, sind anfällig für Erosion durch Regen oder Wind. Freiliegende Böschungen sollten so zeitnah wie möglich durch Anwendung der festgelegten Schutzmaßnahmen, z. B. durch Abdeckung mit Oberboden oder Kies und durch Besäen/Bepflanzen geschützt werden. Andernfalls sollte eine zeitweilige Schutzschicht aus Materialien auf der Böschung verbleiben, um eine Erosion der fertiggestellten Böschung zu verhindern und diese Schutzschicht sollte 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 Frost/Witterung

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

Üblicherweise wird am Boden des Einschnittes, unmittelbar über dem Untergrund, eine Schutz-/Opferschicht belassen, um Beschädigungen des Untergrundes zu vermeiden. Bevor der Untergrund nicht für eine Vorbereitung bereit ist, sollte der Aushub nicht über diese Schutzschicht hinausgehen. 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 Dammes im Wasser sowie auf andere Arten von Aushubarbeiten begrenzter Größe, die unter Wasser durchgeführt werden. Dazu gehört die Entfernung von Hindernissen in Fahrwasser und Schifffahrtsrinnen durch Sprengungen und/oder Aushub.

Für Nassbaggerarbeiten im Allgemeinen wird auf Teil 6 dieser Norm verwiesen.

Die eingesetzten Verfahren und Geräte müssen geeignet sein, die Vorgaben des Entwurfs in den vorherrschenden Baugrundverhältnissen zu erreichen. Berücksichtigt werden müssen zeitgleich auf der Baustelle stattfindende Aktivitäten sowie sämtliche Gerätebewegungen, die zur ordnungsgemäßen Durchführung der Arbeiten erforderlich sind. Mit der Verantwortlichkeit für die Ausführung der Erdarbeiten darf nur fachlich kompetentes und erfahrenes Personal betraut werden. Die besonderen, für die Planung von Aushubarbeiten unter Wasser relevanten Informationen hinsichtlich der Bedingungen auf der Baustelle, einschließlich der Baugrundverhältnisse, sind, wie folgt:

- Geometrie der Baustelle, einschließlich der Randbedingungen;
- Topographie und Zugangsmöglichkeiten;
- Neigungen und Beschränkungen der lichten Höhe;
- Wassertiefe sowie Neigung und Topographie des Meeresbodens mit festgelegten Toleranzen;
- bestehende unterirdische Bauwerke, Rohrleitungen und Leitungen, Versorgungseinrichtungen, bekannte Verunreinigungen und archäologisch bedingte Einschränkungen;
- Daten zu Beschränkungen in Bezug auf Umweltfaktoren, einschließlich Lärm, Schwingungen, Bodenbewegungen, Verschmutzung und Auswirkungen jahreszeitlich bedingter Wetteränderungen sowie Umweltdaten, wie z. B. Wellen, Strömung und Gezeiten.

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 ausgehend durchgeführt, ist es besonders wichtig, sicherzustellen, dass die Reichweite der Geräte hinsichtlich der Wassertiefe, der Aushubtiefe und der Neigung des Aushubs/Dammes ausreicht, um sicher arbeiten zu können. In diesem Fall ist es von großer Bedeutung, Kenntnisse über die Standsicherheit des Dammes/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 Seilgreifers/Seilbaggers durchgeführt.

5.6.3 Toleranzanforderung

Die Neigung des Aushubs und die Höhentoleranzen müssen dem Entwurf 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 gereinigt 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 ggf. 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;
- besondere Anforderungen an Abtreppungen in Verbindung mit einer Auffüllung in Wasser mit geneigtem Grund. Siehe Bild 1.

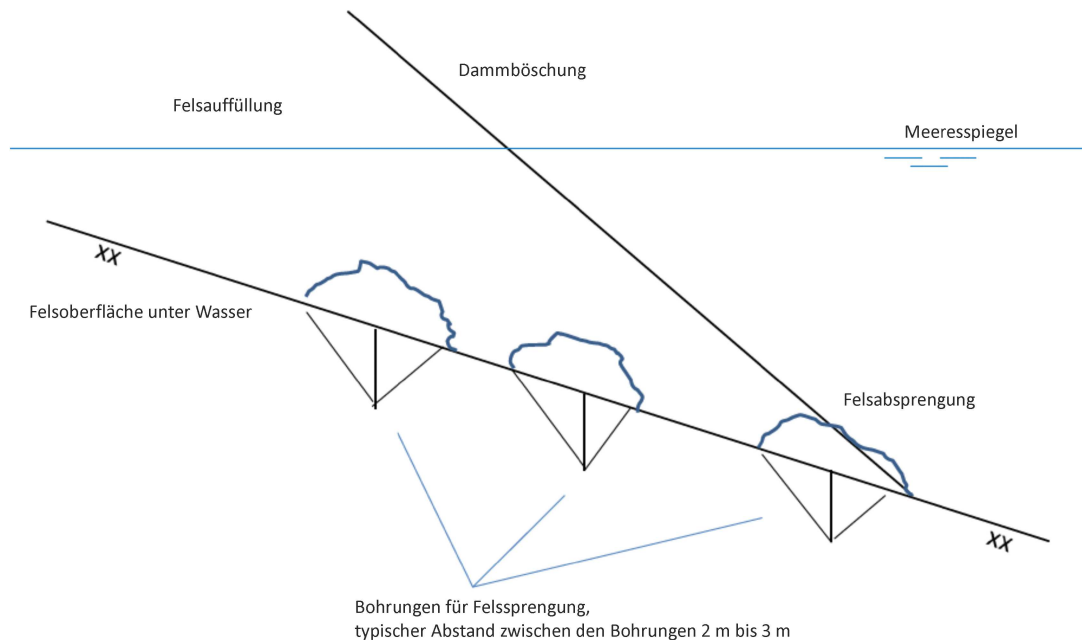


Bild 1 — Ansatz für Abtreppungen unter Wasser

5.6.5 Bauüberwachung und -kontrolle

Um Informationen für eine Kontrolle und ggf. einer erforderlichen Anpassung der Erdarbeiten zu erhalten, müssen 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, Staub, Teilchen, Schwingungen können Umweltschäden verursacht werden. Wo erforderlich, sind Maßnahmen zu ergreifen, um diese schädlichen Auswirkungen auf ein Mindestmaß zu begrenzen oder zu verhindern.

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

- Schluffschleier;
- biologische Umweltbewertung;
- Trübungsmessungen.

5.6.7 Schädliche Auswirkungen auf Fischbestände

Bei der Verwendung von Sprengmitteln unter Wasser zum Sprengen von Fels oder für die Störung von weichem Boden beim Verdrängungsprozess (5.6.4) müssen mögliche schädliche Auswirkungen auf Fischbestände beachtet werden:

- schon in einer frühen Planungsphase müssen die Bedingungen vor Ort in Bezug auf Fischkulturen geklärt werden.

6 Transport

6.1 Allgemeines

Das vorrangige Ziel des Transports während der Bauphase von Erdarbeiten ist die Bewegung geringster Materialmengen über die kürzeste Wegstrecke, mit der minimalen Anzahl von Vorgängen bei gleichzeitiger Erfüllung der Projektanforderungen.

ANMERKUNG Die „geringste Menge“ wird sowohl durch geometrische Gesichtspunkte der Bemessung, als auch durch die Wiederverwendung von Materialien festgelegt. Die „kürzeste Wegstrecke“ ist abhängig von Geographie und Programm und erfordert die Erstellung eines Mengenverteilungsplans (Diagramm der Erdbewegungen). Die „minimale Anzahl von Vorgängen“ ist abhängig vom Programm; die erforderliche Schwerpunktsetzung betrifft mehr den unmittelbaren Einbau, als mehrere Handhabungsschritte/Lagervorgänge. Die zu transportierenden Mengen können beträchtlich sein und mitunter mittels Güterfernverkehr transportiert werden.

Ein Hauptanliegen bei der Sicherstellung der Produktivität von Erdbaumaßnahmen ist die Transporteffizienz, die in direktem Zusammenhang mit der Bodenbefahrbarkeit steht.

Sämtliche Projektbeteiligten müssen sich der unterschiedlichen Parameter bewusst sein, die bei der Vorausberechnung bestimmter technischer Wahlmöglichkeiten, die zu Mehrkosten führen, eine Rolle spielen (z. B. Bau einer Abfuhrstrecke, Erkennen und Hervorheben einer niedrigen Produktivität, Schutz dauerhafter Bauwerke, Maßnahmen zur Staubbekämpfung, usw.).

Der Transport kann innerhalb des Dammfußes erfolgen, auf einer Abfuhrstrecke, auf der/dem im Bau befindlichen Böschung oder Einschnitt, auf der Deckschicht oder auf dem Untergrund. Für den Transport auf öffentlichen Straßen dürfen nur Geräte verwendet werden, die dafür zugelassen sind. In jedem der vorstehend genannten Fälle ist eine angemessene Vorplanung und Organisation erforderlich.

Bei der Auswahl von Erdbaugerät müssen vier Hauptparameter berücksichtigt werden:

- Transportweg zwischen Aushub- und Auffüllungsbereich;
- Beschaffenheit, Größe und Zustand des abgetragenen Materials;
- die zu bewegende Materialmenge;
- Aufbau der Transportstrecke (Neigung, Rollwiderstand, Tragfähigkeit, usw.).

Zusätzlich können in einigen Fällen folgende Parameter von Bedeutung sein:

- örtliches Klima und die während der Baumaßnahmen erwarteten Witterungsbedingungen;
- die zur Erfüllung eines Programms erforderliche stündliche oder tägliche Produktivität;
- dauerhafte Bauwerke oder bestehende Bedingungen (Bauwerke, Leitungen, bestehende Straße), die zu einer Verringerung von Ladung oder Größe führen können.

Die einwandfreie Funktionstüchtigkeit von Maschinen steht auch in Zusammenhang mit mechanischen Kriterien, wie z. B. Hitze und Kälte, Höhe, Staub, Regen und Feuchtigkeit.

6.2 Hauptsächliche Gerätetypen

Bei der Auswahl der Gerätetypen müssen zumindest der Gerätetyp für den Aushub, die Fördermengen, die Tragfähigkeit und der Transportweg berücksichtigt werden. Die hauptsächlichen Gerätetypen werden in Anhang C vorgestellt.

ANMERKUNG Durch den Zusammenhang zwischen feststehenden Elementen (Laden und Kippen) und variablen Elementen (Abfahrt des Materials und Rückfahrt) des Erdarbeitszyklus wird der relative Wirkungsgrad von Gerätetypen über unterschiedliche lange Transportstrecken bestimmt.

Für längere Transportstrecken sind Geräte mit hohen Transportgeschwindigkeiten und vergleichsweise längeren Feststehzeiten geeignet, wohingegen sich für kürzere Transportstrecken eher Geräte mit geringeren Transportgeschwindigkeiten und vergleichsweise kürzeren feststehenden Elementen eignen.

In einigen speziellen Fällen werden für den Transport über sehr kurze Strecken Planiertraupen (auf Materialien, die nicht befahrbar sind) oder Radlader verwendet.

6.3 Großerdbewegungen

6.3.1 Allgemeines

In Einschnitten ist eine angemessene Wasserhaltung erforderlich, die ein Abfließen des Wassers ermöglicht und ein Ansteigen des Wassergehalts von wasserempfindlichen Böden verhindert.

ANMERKUNG In Auffüllmaterial ist eine Mindestkörnung im Querschnitt erforderlich, um einen Wasserabfluss zu ermöglichen (z. B. 2,5 % bis 4 % für lineare Infrastrukturen).

Wenn Böden eine sehr geringe Tragfähigkeit aufweisen, oder wenn eine hohe Produktivität gefordert ist, können temporäre Transportwege notwendig sein. Diese Wege können sich in Einschnitten, oder sowohl in Einschnitten, als auch auf Füllmaterial befinden. Sie können aus grobkörnigem Material oder behandeltem Boden bestehen. Die Anordnung dieser temporären Wege 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 bei Großerdbewegungen, der es dem Ausführenden der Erdarbeiten ermöglicht, das am besten geeignete Erdbaugerät auszuwählen sowie Produktivität und Notwendigkeit von temporären Fahrstrecken vorauszusehen.

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

Da die Geräte im Allgemeinen zur Bewegung von Erdmassen verwendet werden, befahren sie von den Einschnitten bis zu den Auffüllungen einen Teil des Erdbauwerks.

Bei nassem Material können Bereiche zum Be- und Entladen eine geringe Tragfähigkeit aufweisen, was zu einer niedrigen Produktivität führt.

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

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

6.3.2 Transportarbeiten auf Untergrund oder Deckschicht

Falls der Transport von Massengut auf dem Untergrund oder der Deckschicht geplant ist (z. B. von einem Einschnitt zu den Auffüllungen) muss die zu transportierende Menge sowie der vorgesehene Gerätetyp bei der Bemessung des Untergrundes oder der Deckschicht in ausreichendem Maß berücksichtigt werden.

Besteht die Deckschicht aus mit hydraulischen Bindemitteln stabilisiertem Material, das eine Abbindezeit erfordert, muss der Untergrund zu einem Mindestgrad befahrbar sein, der sicherstellt, dass Schäden an den Bauwerken vermieden werden.

ANMERKUNG Transportarbeiten auf der Dammkrone sind zumindest für die Aufbringung der Tragschicht erforderlich. Wenn die Bemessung des Oberbaus dies vorsieht, ist auch eine Deckschicht erforderlich. Für den Transport dieser Materialien werden üblicherweise Lastkraftwagen eingesetzt.

Tatsächlich kann die Belastung hierbei viel größer sein, als in der Bemessung für den dauerhaften Oberbau vorgesehen.

Darüber hinaus können manche Materialien bei Regen durch die Scherspannung der Reifen beeinträchtigt werden. Im Allgemeinen trifft das auf Kalkstein und einige brüchige Felsarten zu und kann zum Beispiel mithilfe der Micro-Deval-Prüfung unter Wasser bewertet werden.

Schwerlasteinsätze können zu einer Verringerung der Höhe des Planums um mehrere Zentimeter führen. In diesem Fall sind Maßnahmen zum Schutz des Planums in Betracht zu ziehen, zum Beispiel:

- Instandsetzung des Planums nach Transportarbeiten und vor der Feinplanierung;
- Aufbringen einer Schutzschicht aus Materialien über den letztendlichen Einschnittebenen oder Überfüllen der Auffüllung mit der gleichen Menge an Füllmaterialien.

6.3.3 Transportstraßen

Unter manchen Umständen kann der Bau einer zweckbestimmten Transportstraße erforderlich sein. Im Allgemeinen befinden sich diese Strecken innerhalb der Fläche des Planums, auf dem die Erdarbeiten ausgeführt werden; wenn es die Fläche jedoch zulässt, sollte ein Bau der Transportstraße neben dem Planum in Erwägung gezogen werden.

Da ein Versagen dieser Transportstraße 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 Instandhaltung der Transportstraße, wie z. B. regelmäßige Planier- und Ausbesserungsarbeiten, sollte durchgeführt werden, bevor eine Verschlechterung zu einem Tragwerksversagen 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 Transportstraße 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 Transportstraßen 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.

Die Transportstrecke ist mit Straßenverkehrszeichen zu versehen, die insbesondere Folgendes anzeigen:

- Geschwindigkeitsbegrenzungen;
- Kurven, Überholverbote;
- Kreuzung mit Straßen und Gehwegen;
- vereinzelte Problempunkte und gefährliche Hindernisse (Brücken, Luftkabel, usw.). Oftmals in Verbindung mit Schranken zur physischen Abtrennung;
- Trennung zwischen Erdbaumaschinenverkehr und anderem Verkehr auf dem Gelände;
- Hinweis auf eine Bewässerung zur Staubvermeidung (Umwelts- und Sicherheitsfaktoren).

Ein Versagen der Transportstraße tritt mit hoher Wahrscheinlichkeit an Stellen mit besonders hoher Verkehrsdichte auf. Deshalb sollten Transportstraßen so breit wie möglich gehalten, und der Baustellenverkehr gleichmäßig über die vollständige Breite verteilt werden. Wo durch geländebedingte Einschränkungen nur schmale Durchfahrtswege verwendet werden dürfen, sollte eine Verstärkung der Transportstraßen durch Bodenbehandlung oder einen Belag aus losem Gestein in Betracht gezogen werden. In jedem Fall sollten Transportstraßen nicht auf Ebenen oder an Stellen gebaut werden, auf/an denen eine Beschädigung des vor Ort vorhandenen Untergrunds (in Einschnitten) oder des errichteten Untergrunds (auf Dämmen) erfolgen kann.

6.4 Art des Materials und Massenguttransport

6.4.1 Allgemeines

Der Transport auf natürlichem Boden kann je nach dessen Beschaffenheit und Zustand ein Problem darstellen.

Zur Auswahl des am besten geeigneten Erdbaugeräts und zur Vorhersage der möglichen Problemstellungen müssen sämtliche relevanten Informationen hinsichtlich des Materials zur Verfügung gestellt werden.

Folgende Problemstellungen sind zu berücksichtigen:

- geringe Befahrbarkeit von wasserempfindlichen Materialien im nassen Zustand;
- wesentliche und schnell eintretende Verringerung der Befahrbarkeit während Regenfällen bei feinkörnigen Böden mit geringer Plastizität;
- rutschige Oberflächen von feinkörnigen Materialien bei Regenfällen;
- Vorhandensein scharfkantiger Blöcke (z. B. Flinte), die die Reifen beschädigen;
- Kunststoffmaterialien, die bei Nässe klebrig werden können und die Produktivität während des Ladens und Kippens verringern.

Da die Befahrbarkeit im Allgemeinen den Hauptpunkt beim Transport von Massengütern darstellt, müssen genügend Informationen verfügbar sein. Bei den Informationen können einige der folgenden Prüfergebnisse enthalten sein: CBR-Index, IBI-Index, Feuchtigkeitszustands-Wert oder andere relevante Parameter. Eine Ausnahme hiervon ist Kreide, die sich durch ihren natürlichen Wassergehalt oder die Trockendichte in situ auszeichnet.

Die Geschwindigkeit, in der sich die Befahrbarkeit von wasserempfindlichen Materialien bei Wassergehalt verringert, nimmt mit der Durchlässigkeit der Materialien zu, wie vorstehend schon ausgeführt. Auf einigen Schluffmaterialien kann die Befahrbarkeit sogar bei einem natürlichen Wassergehalt nahe am optimalen Wassergehalt der normalen Proctordichte schlecht sein.

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

6.4.2 Staub

Die Entwicklung von Staub kann ein Umweltproblem darstellen, ist jedoch stets auch ein Sicherheitsproblem, da Staub die Sichtverhältnisse an der Baustelle erheblich einschränkt.

Unter trockenen klimatischen Bedingungen oder während der trockenen Jahreszeiten verursachen Transportarbeiten die Entwicklung von Staub. Die Staubentwicklung kann verringert werden, indem die Feinanteile, z. B. durch einen Erdhobel, entfernt werden.

Die beste Möglichkeit zur Staubverringerung ist die Verwendung eines Sprühbefeuchters. In Schwerlasteinsätzen und bei einigen Materialarten muss sehr häufig gesprüht werden, wodurch hohe Wassermengen zum Einsatz kommen können, und die Umwelt beeinträchtigt werden kann.

Der Wasserverbrauch kann in erheblichem Maße verringert werden, wenn das Wasser mit speziellen, auf die staubbildenden Materialien abgestimmten Produkten versetzt wird.

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

- Bodenbehandlung des Transportplanums;
- Oberflächenbehandlung;
- Beschichtung mit grobkörnigem Material;
- Verkleidung/Abdeckung von Kippfahrzeugen und Lastkraftwagen.

6.4.3 Schutz von bestehenden Bauwerken und erdverlegten Versorgungseinrichtungen

Bestehende Bauwerke und im Zuge der Erdarbeiten errichtete Bauwerke, die während des Transports gekreuzt werden können, sind im Allgemeinen folgende:

- erdverlegte Versorgungseinrichtungen oder Rohrleitungen: falls diese nicht vor den Bauarbeiten umgeleitet wurden, können sie entweder durch eine Betondecke oder einen kleineren Damm geschützt werden;
- Freileitungen; diese sollten durch demarkierte sichere Kreuzungspunkte geschützt werden;
- bestehende Straßen; wo bestehende Straßen durch die Transportstraße gekreuzt werden, sollten sie an lichtsignalgesteuerten Kreuzungspunkten mittels Einbau von Betonplatten geschützt werden;
- Bauwerke: wenn das Bauwerk Teil der Konstruktion ist, kann es so bemessen werden, dass es die Transportlast tragen kann. In diesem Fall wird für gewöhnlich eine Kiesschicht über einer behelfsmäßigen Schutzschicht eingebaut;
- ein teilweise oder vollständig fertiggestelltes Erdplanum, das nicht durch den Baustellenverkehr beschädigt werden darf.

Bestehende Bauwerke müssen während der Bemessung bewertet werden, um Höchstlast und maximale Größe des Gerätes festzustellen.

6.5 Lastkraftwagen

Lastkraftwagen werden im Allgemeinen für den Güterfernverkehr auf geeigneten Transportstraßen oder öffentlichen Straßen verwendet.

Für den Transport 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 der Auszuführende folgende Punkte festlegen:

- die für das Gebiet zugelassenen Transportstrecke(n) (nach Absprache mit den lokalen Behörden). Die Bedingungen für die Nutzung der öffentlichen Straßen müssen vor Beginn der Bauarbeiten eindeutig festgelegt sein;
- an der öffentlichen Straße notwendige Vorarbeiten für die Sicherheit und zur Vermeidung eines Versagens;
- Verkehrszeichen für die Sicherheit an Verkehrsknotenpunkten mit der Erdbaustelle;
- technische Möglichkeiten zur Vermeidung von Verschmutzungen der öffentlichen Straße mit Schlamm oder Staub (Bitumenanteil der Spur, Waschen der Reifen, usw.) sowie ggf. die Notwendigkeit einer Reinigung.

6.6 Alternative Transportverfahren

6.6.1 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 oftmals die Nutzung von Umladebühnen mit einem Bereich zur Lagerung sowie dafür vorgesehenes Gerät zum Beladen und Entladen notwendig.

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

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

6.6.2 Transport auf dem Wasserweg

Massenguttransporte auf dem Wasserweg werden durch verschiedene Arten von Leichtern durchgeführt. Hierbei kann es sich um Klappschuten oder Deckschuten handeln. Schuten können durch Schleppboote gezogen werden oder selbstfahrend sein.

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

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

6.6.3 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 Endbahnhöfe festgelegt werden. Die Endbahnhöfe 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.

Zur Sicherstellung der notwendigen Zustimmungen und Genehmigungen durch die Bahnverwaltungen ist beim Transport auf dem Schienenweg eine ausführliche Planung erforderlich, die oftmals einige Zeit vor den eigentlichen Bauarbeiten erfolgen muss.

ANMERKUNG Die Größe und Komplexität dieser zeitweiligen Anlagen führt oftmals dazu, dass sich ein Schienentransport nur für große Mengen oder über lange Strecken als wirtschaftlich erweist. Das Be- und Entladen aus/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 Brückenkranen oder Selbstentladewagen als rentabel erweisen.

6.7 Transport von Materialien aus dem Tunnelbau

Sobald die beim Tunnelbau ausgehobenen Materialien durch den Ausführenden der Tunnelbauarbeiten an die Erdoberfläche gebracht wurden, stellen sie den Ausführenden der Erdarbeiten vor besondere Herausforderungen. In diesem Abschnitt werden diese besonderen Herausforderungen beschrieben.

Der Zustand des Aushubs aus Tunnelbauarbeiten steht in Abhängigkeit von der Bodenart 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)

- Sprengungen;
- Tunnelbohrmaschine (TBM).

Durch eine TBM ausgehobenes Material ist wahrscheinlich am Schwierigsten in der Handhabung, und die einzige Art von Bodenaushub, die an dieser Stelle erörtert wird. Während des Aushubs wird der Boden oder Fels durch die TBM so zerkleinert, dass inhärente Stufungen und Merkmale 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.

Im äußersten Fall kann der Tunnelaushub in wenig mehr als Schlamm oder Brei bestehen. 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 Tunneleinfahrt 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 Hohlraum gegeben ist, um die angestrebte Geschwindigkeit des Tunnelaushubs zu erfüllen.

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, usw. Darüber hinaus kommen bei der Behandlung die gebräuchlichen Behandlungsverfahren mit beweglichen Mischmaschinen, die dem Boden Kalk, Zement oder ähnliche Bindemittel hinzufügen, zum Einsatz.

Bestimmte Mittel zur Konditionierung des Bodenaushubs haben eine begrenzte Lebensdauer und somit kann eine Verbesserung des Aushubs dadurch erreicht werden, dass das Material auf einer Halde gelagert wird, bis sich sein 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 Materialien. 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 Materialien geeignet sein, eine Vorbehandlung an der Oberfläche kann eine Entscheidung 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 Entwicklungsplattformen oder der Bau eines Planums für vorgesehene Infrastrukturen sind nur einige Beispiele.

7 Auffüllen und Verdichten

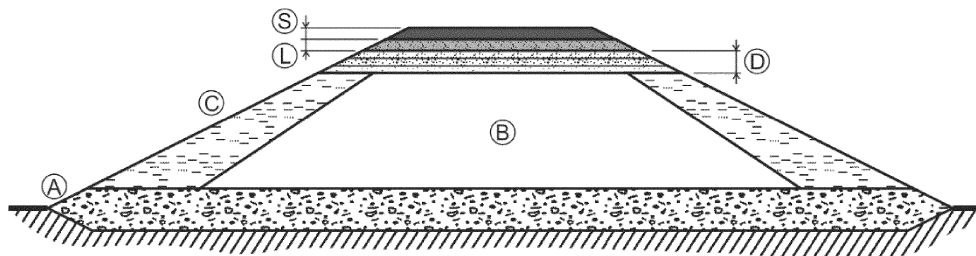
7.1 Allgemeines

Die erwarteten Eigenschaften der Auffüllung werden durch den Entwurf des Erdbauwerks festgelegt. Während der Bemessung der Erdarbeiten werden sie in den für Erdarbeiten gebräuchlichen Begriffen (Teil 1, Abschnitt 5) dargelegt. Sobald der Entwurf ausreichend ausgearbeitet ist, kann über Ausführung und Qualitätskontrolle entschieden werden.

ANMERKUNG Der Bau einer Auffüllung umfasst die schichtweise Verteilung und Verdichtung der Materialien auf Flächen, die so bemessen sind, dass zur Schaffung einer Bettung, auf der der Oberbau errichtet werden kann üblicherweise schweres Gerät verwendet werden kann.

Der Erddamm kann nach Teil 1 dieser Norm in verschiedene Auffüllungszonen unterteilt werden. Die Festlegung dieser Zonen erfolgt gewöhnlich wie in Bild 2 und 3 festgelegt.

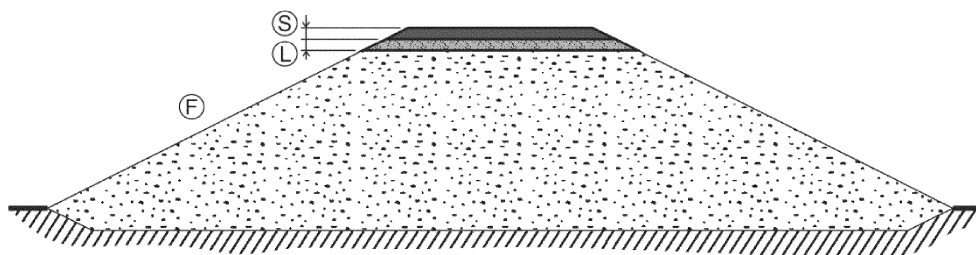
Die Struktur eines Erddamms, wie in Bild 3 dargestellt, zeigt den allgemeinen Fall. Für einige Projekte ist die Aufteilung in weitere Zonen, wie in Bild 2 dargestellt, notwendig.



Legende

- A Fundament
- B Kern
- C Bankett
- D Übergangsschichten
- L Deckschicht
- S Oberbau (Straßenbelag/Gleis)

Bild 2 — Zonen eines Infrastrukturdamms



Legende

- F durchgängiges Füllmaterial
- L Deckschichten
- S Oberbau (Straßenbelag/Gleis)

Bild 3 — Zonen eines homogenen Infrastrukturdamms

7.2 Gesichtspunkte hinsichtlich der Dammhöhe

Der Zweck eines Erdbauwerks ist es, eine Infrastruktur, die mehr oder weniger setzungsempfindlich ist, zu stützen, ausgenommen hiervon sind Deiche, bei denen andere Parameter berücksichtigt werden müssen (Durchlässigkeit, innere Erosion, usw.). Diese Anforderungen werden bei der Bemessung der Erdarbeiten berücksichtigt.

ANMERKUNG 1 In Großbritannien und Frankreich gilt die Eigensetzung innerhalb von Dammfüllungen bei Dammhöhen von höchstens 15 m (bei einigen Materialanforderungen kann sogar eine geringere Höhe notwendig sein) bei Anwendung der nationalen Verfahrensspezifikation (SHW, en: Specifications for Highway Works, britische Richtlinien zu Straßenbauarbeiten, oder GTR, fr: Guide Des Terrassements Routier, Französische Richtlinie zu Straßenbauarbeiten) im Allgemeinen nicht als problematisch. Bei größeren Höhen müssen gründlichere Überlegungen stattfinden, einschließlich einer möglicherweise höheren Verdichtungsarbeit, Bodenstabilisierung und der Anwendung einer Endproduktspezifikation.

Das Setzungsrisiko nach dem Bau steigt mit der Höhe des Damms. Diese Tatsache sollte während der Entwurfsphase untersucht werden. Bei einigen Materialien (z. B. bei nässeempfindlichen Böden oder brüchigem tonhaltigem Gestein) besteht das Risiko sogar bei Höhen von unterhalb 15 m. Bei der Setzungsuntersuchung müssen auch die Beschaffenheit und Merkmale der Gründungssohle berücksichtigt, der Konsolidierungsprozess analysiert, und die erforderlichen Bemessungen festgelegt werden, um Setzungen nach dem Bau zu begrenzen.

ANMERKUNG 2 Unerwartet auftretende langfristige Setzungen beeinträchtigen das Längsprofil, wie auch den Querschnitt und können sich ungünstig auf die Entwässerung auswirken. Wenn der Entwässerungskreislauf unterbrochen wird, gelangen zusätzliche Wassermengen in den Damm, und tragen so zu weiteren Setzungen bei.

7.3 Materialgruppen

Die Materialien, die in Auffüllungen 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 Teil 2 dieser Norm dargestellt. In Bezug auf das Verhalten von Materialien in Auffüllungen können diese Klassen in größeren Familien 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 Familien aufgeteilt werden können, die wiederum die in der „Klassifizierung“ nach Teil 2 beschriebenen Klassen umfassen:

- feinkörnige Böden und Zwischenböden: 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 Anhang A, A.2;
- grobkörnige Boden, die sich folgendermaßen unterteilen lassen:
 - sehr grobkörnige Böden;
 - gut abgestufte Materialien; die weit gestufte kieshaltige grobkörnige Böden und gemischtkörnige Böden aus der Klassifikation umfassen;
 - gleichförmige Materialien, die eng gestufte kieshaltige grobkörnige Böden und gemischtkörnige Böden aus der Klassifikation umfassen;
 - intermittierend gestufte Materialien;
- Felsgestein, das aufgrund seines Verhaltens nach dem Aushub folgendermaßen eingeteilt werden kann:
 - fester Fels;
 - veränderlich fester Tonstein;
 - anderes mittelfestes Felsgestein;
 - brüchiger Fels;
 - Kreide.

7.4 Festlegung der Verdichtungsspezifikationen

7.4.1 Allgemeines

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 muss das verwendete Material die Erfüllung der folgenden Grundbedingungen ermöglichen:

- Bau unter zulässigen Bedingungen;
- zufriedenstellende Standsicherheit von Erdbauwerken;
- annehmbare kurzfristige und langfristige Verformungen für die bei der Bemessung festgelegten Bedingungen.

7.4.2 Verfahrensspezifikation

In der Verfahrensspezifikation sollten die hauptsächlichen Faktoren für ein gutes Verdichtungsergebnis geregelt werden. Die Vorgaben zum Verdichtungsverfahren beruhen auf Erfahrungswerten mit vor Ort bestehenden Materialien und Wetterbedingungen.

Die Verfahrensspezifikation für ein gegebenes Material besteht zumindest aus Anforderungen an:

- die Verdichtungsarbeit, die zumindest durch die Gerätespezifikationen des Verdichtungsgeräts beschrieben werden sollte (Mindestgewicht der Rüttelplatte oder ein Straßenwalzentyp mit einem Mindestgrad an statischer Linienlast, z. B. Radlast, usw.);
- die Anzahl der Arbeitsgänge;
- die Schichtdicke für eine bestimmte Materialart;
- die Verdichtungsgeschwindigkeit.

Wenn maßgeblich, werden die Vorgaben durch Anforderungen an den Wassergehalt oder an die Schwingungsfrequenz und –amplitude des Verdichtungsgeräts ergänzt.

Durch den Bau eines Versuchsdamms können projektspezifische Vorgaben zum Verfahren festgelegt werden.

7.4.3 Endproduktspezifikation

In Endproduktspezifikationen wird eine Reihe von Kriterien aufgelistet, die bei Fertigstellung der Auffüllung erreicht sein müssen.

Die Endproduktspezifikationen können entweder den Verdichtungszustand oder die physischen Eigenschaften der Auffüllung behandeln.

Falls das Ziel der Prüfungen in einer Verringerung der Konsolidierung oder Verdichtung durch Verkehr oder statische Belastung besteht, ist eine Messung der Verdichtung innerhalb des Damms das beste Verfahren.

Die Verdichtung wird durch Messung von Dichte und Wassergehalt in der verdichteten Schicht bestimmt und das Ergebnis als Verdichtungsgrad, Luftporengehalt oder Sättigungsgrad angegeben.

Als Anforderung an das Endergebnis wird meistens die Steifigkeit verwendet (Elastizitätsmodul oder FDVK-Werte). Prüfungen zur Messung der undränierten Festigkeit (Flügelscherversuch) oder der in situ CBR-Versuch, Drucksondierung oder Rammsondierungen können ebenfalls zur Bewertung des Verhaltens des fertiggestellten Damms herangezogen werden.

Die in der Endproduktspezifikation angestrebten Werte stehen in Abhängigkeit vom Nutzungszweck des Bauwerks, der annehmbaren Setzung sowie von den erwarteten mechanischen Eigenschaften der Schicht.

Über die Art und Weise, in der die Endproduktspezifikationen erfüllt werden, kann durch Ausführung eines Verdichtungsversuchs (siehe Teil 1) zu Beginn der Auffüllarbeiten entschieden werden, oder wenn sich die Eigenschaften der Materialien während des Auffüllprozesses ändern.

7.4.4 Leistungsspezifikation

Eine Leistungsspezifikation erfolgt in Hinsicht auf den erforderlichen Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit. Ein Beispiel: „Fünf Jahre nach dem Bau sollten die Setzungsunterschiede über eine festgelegte Länge höchstens 1:2 000, und die Setzungsunterschiede innerhalb einer Fläche höchstens 25 mm betragen“.

ANMERKUNG Leistungsspezifikationen werden im Allgemeinen nicht ausgewählt, da sie für lange Zeit die Annahme der Arbeiten durch den Kunden behindern.

7.5 Vorbereitung der Auffüllfläche

Vor den Bauarbeiten müssen Bäume und Büsche gerodet und aus der Auffüllfläche 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 nicht zweckmäßig sein, da sich dadurch eine festere und weniger verformbare Bodenkruste als der Oberboden 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 die Entfernung der Oberbodenschicht aus dem Entwurf herausgestrichen werden, wenn Setzungen, insbesondere nachträgliche Setzungen, im Vergleich zur Gesamtsetzung der Auffüllung gering ausfallen sowie unter der Voraussetzung, dass ihr Vorhandensein kein Risiko für eine Standunsicherheit darstellt.

ANMERKUNG Bei Auffüllungen auf zusammendrückbarem Boden von 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 Baugrunds muss der gewachsene Boden ausgehoben und auf das/die im Entwurf festgelegte Maß und Tiefe entnommen werden.

Sobald die Baugrundhöhe, die die Erdauffüllung letztendlich tragen wird, erreicht wurde, sollte, sofern dies im Entwurf festgelegt ist, der Baugrund auf die festgelegte Tiefe aufgerissen 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 Auffüllung und die Anfangsoberfläche so ausgebildet werden, dass die Auffüllung standsicher ist.

Auf abfallendem oder geneigtem Baugrund kann vor der Auffüllung eine Abtreppe (ein stufenförmiger Aushub) der Geländeoberfläche nach Bild 4 erforderlich sein, siehe nachstehend. Das Grenzgefälle kann je nach den örtlichen Baupraktiken unterschiedlich sein (z. B.: von 15 % bis zu 1/3). 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.

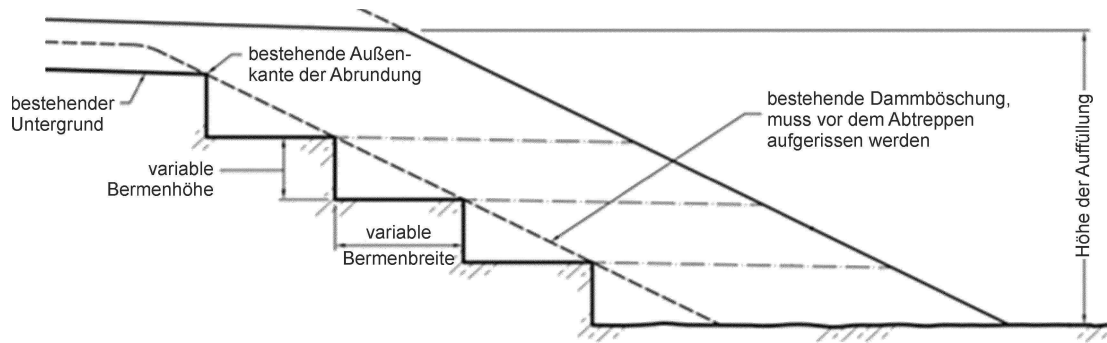


Bild 4 — Abtreppung für einen Damm auf geneigtem Gelände

ANMERKUNG Die Höhenbereich der Abtreppungen kann zwischen 0,3 m und 1 m liegen.

Wenn die Erdauffüllung auf Baugelände, das Oberflächenwasser enthält, errichtet werden muss, ist das Wasser vor dem Beginn der Bauarbeiten vom Baugelände mithilfe von Bauwerken, die als Nebenanlagen betrachtet werden dürfen und die nach den für diese Art von Bauwerken geltenden Vorschriften errichtet werden müssen, vom Baugelände wegzuleiten.

Wenn die Grundwasserströmung die Sicherheit und Leistungsfähigkeit des Damms auf geneigtem Gelände beeinträchtigen kann, muss zusätzlich zur Abtreppung unter dem Damm eine Dränageschicht eingebaut werden. Sickerwasser aus dem vorgelagerten Wasserhaltungsgraben muss verhindert werden.

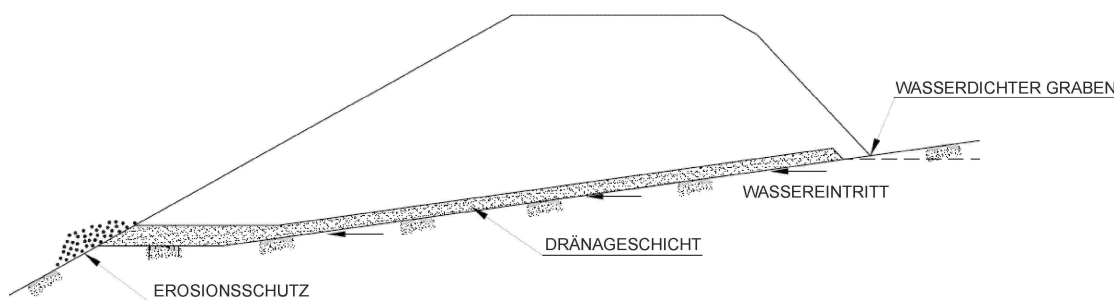


Bild 5 — Dränageschicht unter einem Damm auf geneigtem Gelände

Wenn der Entwurf dies vorsieht, müssen Lagen aus grobkörnigem Material oder Geotextilfolien, die die Aufbringung der ersten Auffüllungsschichten ermöglichen oder erleichtern, aufgebracht werden.

Im Allgemeinen und im Besonderen in Hanglagen, wo kurz- oder langfristig mit dem Auftreten von Wasser in der Aufstandsfläche zwischen Boden und Erdauffüllung gerechnet werden muss, sind die erforderlichen bauwerklichen Maßnahmen wie im Entwurf vorgegeben durchzuführen, um diesen Bereich entwässert zu halten.

7.6 Besondere Problemstellungen bei der Bauausführung

Wenn eine bestehende Erdauffüllung verlängert oder erhöht werden muss, muss die Vorbereitung mittels Bermen oder anderen relevanten Maßnahmen erfolgen, mit denen eine geeignete Verbindung mit der neuen Erdauffüllung erreicht wird.

Die Übergänge von Einschnitten zu Erdauffüllungen müssen sowohl in Quer-, als auch in Längsrichtung möglichst nahtlos und wie im Entwurf dargestellt verlaufen. Erreicht werden kann das, indem der tragende Boden mit einer geeigneten Neigung abgetragen wird. Diese Neigung ist bis zu einer Tiefe von mindestens einem Meter (1 m) unterhalb des Untergrundes fortzuführen.

Im Fall von frostempfindlichen Materialien sollte eine „Frostübergangszone“ nach Bild 6 eingebaut werden, um die Unterschiede in den Frosthebungen im Übergang zwischen Einschnitt und Damm zu verringern. Der Abstand L richtet sich nach der Frostempfindlichkeit der beim Bau verwendeten Materialien.

Frostübergangszone

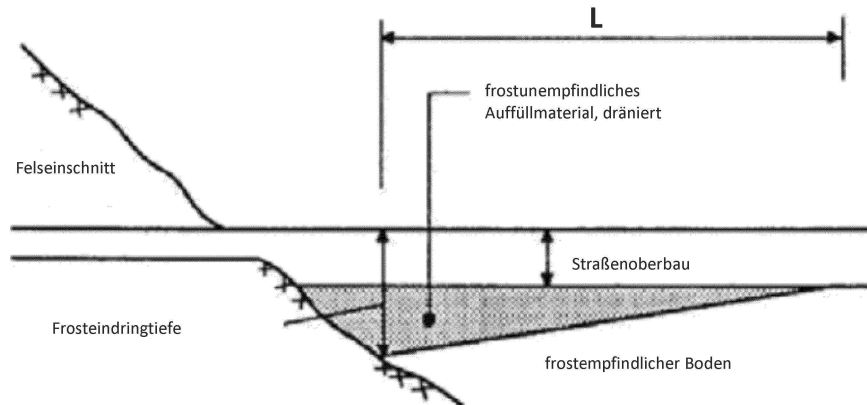


Bild 6 — Frostübergangszone

ANMERKUNG Um eine Migration von Teilchen zwischen verschiedenen Schichten zu vermeiden, können folgende Maßnahmen angewendet werden:

- Erfüllung der Filterbedingungen zwischen den beiden Schichten;
- Ausführung einer Trennschicht. Die Trennschicht besteht im Allgemeinen aus sandhaltigem/kieshaltigem Material. Besonders wichtig ist dies, wenn sich Materialstufungen zwischen Schichten wesentlich unterscheiden;
- Einbau eines Geotextils als Filterschicht.

7.7 Verteilen

Sobald die Vorbereitung der tragenden Fläche für die Erdauffüllung abgeschlossen ist, muss unter Verwendung der festgelegten Materialien, die in aufeinanderfolgenden Schichten einheitlicher Dicke über die gesamte Breite des Damms und im Wesentlichen parallel zum letztendlichen Untergrund verteilt werden, eine Schicht errichtet werden.

Das grundlegende Ziel beim Verteilen besteht darin, eine ebene Schicht von bemessener Dicke zu erhalten. Je nach Materialart und Verdichtungsgerät kann die Schichtdicke bei der Verdichtung verringert werden. Auch sollte das Verteilungsverfahren Trennungen auf ein Mindestmaß verringern und die Homogenisierung der Materialzusammensetzung fördern.

ANMERKUNG Eine gängige Verfahrensweise zur Verringerung der Trennung zwischen gesteinhaltigem Auffüllmaterial und grobkörnigen Materialien ist, das Material in einer Entfernung von mindestens 5 m abzuladen und von dort aus voranzuschieben, wie in Bild 7 gezeigt.

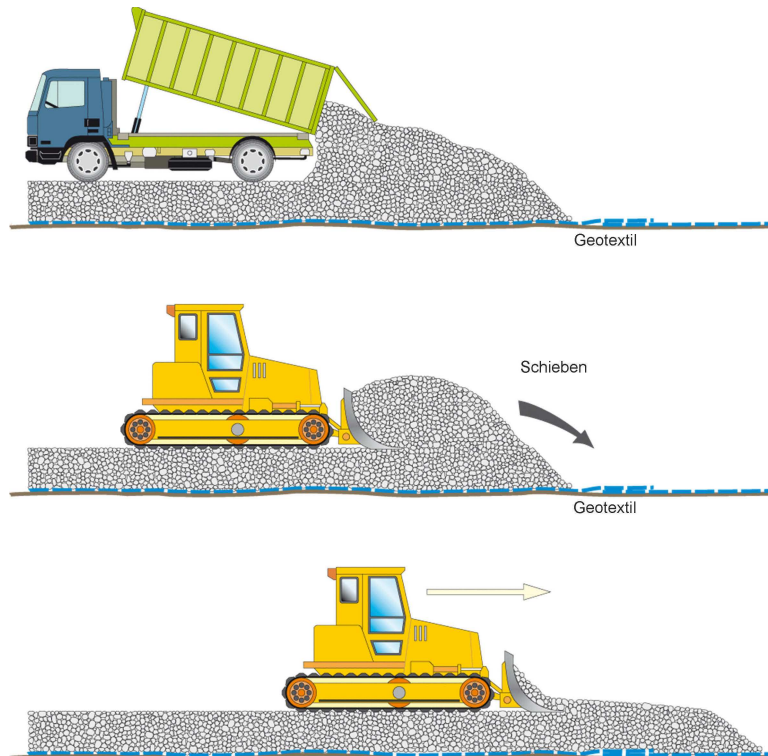


Bild 7 — Gängige Verfahrensweise beim Verteilen

Um bei unterschiedlichen Zusammensetzungen der Auffüllmaterialien eine gleichmäßige Dammszusammensetzung zu erhalten sollte das Auffüllmaterial in zur Baugrundoberfläche parallel verlaufenden Schichten verteilt werden.

Um einen homogenen Damm zu erhalten und um eine gleichmäßige Verdichtung sicherzustellen, dürfen die größten im Boden enthaltenen Bestandteile ($D_{\max}$) höchstens $2/3$ der Schichtdicke der verdichteten Schicht betragen.

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 Gleichförmigkeit durch gründliches Vermischen der Materialien mit geeigneten Maschinen erreicht werden. Im Allgemeinen sollte der Endproduktspezifikation entsprechend keine Schicht verteilt werden, bevor die darunterliegende Oberfläche auf ihre Übereinstimmung mit den festgelegten Anforderungen überprüft wurde.

Während der Durchführung der Arbeiten müssen die Schichtoberflächen sofern möglich das notwendige Quergefälle, für gewöhnlich etwa 4 %, aufweisen, um eine Wasserableitung ohne Erosionsgefahr sicherzustellen und eine Pfützenbildung zu verhindern. Für Auffüllungen mit einer Höhe von über 5 m sowie in allen Fällen, in denen eine starke Erosion der Außenflächen der Auffüllung erwartet wird, müssen an den Rändern der Schichten Erddeiche errichtet werden, die, zusammen mit den entsprechenden Längsprofilen, 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.

Zur Verdichtung der Böschungsränder des Damms wird im Allgemeinen eine der zwei folgenden Verfahrensweisen angewendet:

— Verfahren mit überschüssiger Auffüllung des Damms

Durch den Einbau einer zusätzlichen Dammbreite ist es nicht erforderlich, die Verdichtung mit dem Verdichtungsgerät unmittelbar am Böschungsrand auszuführen (siehe Bild 8).

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

— Verfahren mit Gegengefälle (W-Querprofil)

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

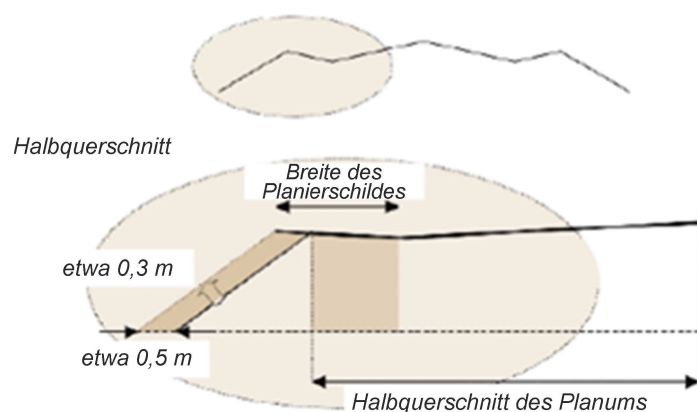
Das Gegengefälle reicht alleingegenommen nicht aus, um dem Verdichtungsgerät eine Verdichtung des Bodens bis zum Böschungsrand zu ermöglichen, sodass für eine gesicherte und sichere Verdichtung üblicherweise eine geringe zusätzliche Breite erforderlich ist. Diese Breite umfasst gewöhnlich eine Materialdicke von 0,30 m, die von der Böschung abgetragen werden müssen.

Der Vorteil dieser Verfahrensweise liegt darin, dass der Oberflächenabfluss an der Böschung auf ein Mindestmaß verringert wird.

Der Nachteil dieser Verfahrensweise betrifft die Entwässerung, welche stets durch längsseitig verlaufende leichte Gefälle erfolgen muss, um das Risiko einer Wassersickerung in den Damm zu vermeiden. Letztendlich wird der Damm so ausgeformt, dass das Wasser in behelfsmäßige Entwässerungskanäle geleitet wird, die im Verlauf der Erdarbeiten errichtet werden.



a) Verfahrensweise mit überschüssiger Auffüllung



b) Verfahrensweise mit W-Querprofil

Bild 8

Wenn die Geometrie keine Bedeutung hat und die Standsicherheit dadurch nicht gefährdet wird, dürfen überschüssige Materialien aus Erdarbeiten vor Ort belassen werden.

Wenn die Entfernung überschüssiger Materialien kein Risiko für den Böschungsaufbau darstellt (Felsdämme/Felsauffüllungen) werden diese entfernt.

Diese Materialien müssen entweder während der Bauarbeiten, oder nach Fertigstellung des Damms entfernt werden.

Wasserempfindliche Böden dürfen für den Damm wiederverwendet werden, falls ihr Feuchtigkeitszustand dies zulässt.

Das Abtragen der Böschung entlang der Dammoberfläche wird für gewöhnlich mithilfe eines Hydraulikbaggers, je nach Ausführung des Baggereimers, in Abschnitten einer Höhe zwischen 3 m und 5 m durchgeführt.

Diese Baumaßnahme erfordert den Einsatz von erfahrenem Personal mit der Fähigkeit, das letztendliche Profil auszubilden (ohne zusätzliche Arbeitsschritte).

Beim Abtragen der Materialien wird darauf geachtet, am oberen Ende eines jeden Abschnitts einen Teil der überschüssigen Dammauffüllung mit einem Gefälle von 2/3 zu belassen.

Die im Folgenden aufgetragenen Schichten werden durch diesen verbleibenden Vorbau gestützt und die zusätzlich im oberen Abschnitt entstehende Breite bleibt erhalten.

Falls für die Erhaltung des festgelegten Verdichtungsgrades eine Zugabe von Wasser erforderlich ist, muss diese Baumaßnahme durch gleichförmige Befeuchtung der Materialien mit den dafür geeigneten Systemen in den Herkunftsgebieten (Steinbrüche, Entnahmegruben), auf Zwischenhalden oder innerhalb der Schicht durchgeführt werden.

Das Verteilen und Verdichten muss an Materialien im ungefrorenen Zustand erfolgen.

In besonderen Fällen, wenn das Material einen übermäßigen natürlichen Feuchtigkeitsgehalt aufweist, müssen geeignete Maßnahmen zur Erreichung der festgelegten Verdichtung ergriffen werden, dazu gehören die mögliche Trocknung durch Lagern an Luft oder durch Beimengen von trockenen Materialien oder geeigneten Stoffen.

ANMERKUNG Wenn das Verteilen unterhalb des Grundwasserspiegels erfolgen muss oder für den Fall, dass Bäche oder Grundwasserströme vorliegen können, empfiehlt es sich, die Möglichkeit des Abpumpens oder der Umleitung des Wassers während des Bauprozesses zu untersuchen.

Falls gesättigte Verhältnisse zu erwarten sind, beispielsweise in Bereichen unterhalb des Grundwasserspiegels oder in Überschwemmungsgebieten, ist eine Verwendung von wasserunempfindlichen Materialien, vorzugsweise von grobkörnigen Materialien, oder behandelten Materialien, die angemessenen Laborversuchen unterzogen wurden, erforderlich.

Diese Materialien sollten bis zu einer Höhe von 50 cm über dem maximalen Grundwasserspiegel aufgebracht werden. Dieser Vorgang ist Teil des Entwurfs.

Schichtdicke

Die Dicke der Schichten muss so beschaffen sein, dass durch Anwendung der verfügbaren Mittel die erforderlichen Eigenschaften durch die gesamte Schichtdicke hindurch erhalten werden. In Einzelfällen sollten Grenzwerte für besondere Umstände festgelegt werden. In jedem Fall muss die Schichtdicke über drei Hälften ($3/2$) der Maximalgröße des verwendeten Materials betragen.

7.8 Verdichten

7.8.1 Allgemeines

Die Zielsetzung beim Verdichten besteht darin, das Material so zu verdichten, dass Setzungen innerhalb der Auffüllung auf ein Mindestmaß verringert und die Eigenschaften des Materials verbessert werden.

Die hauptsächlichen Faktoren, die das Verdichtungsergebnis für ein bestimmtes Material beeinflussen, sind folgende:

- Wassergehalt;
- Verdichtungsarbeit;
- Unterstützung durch die darunterliegende Schicht.

Die Auswahl des Verdichtungsverfahrens richtet sich nach der Bodenbeschaffenheit, dem Wassergehalt und den geforderten Eigenschaften.

Bei der Auswahl des Verdichtungsverfahrens sollten folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Kenndaten der zu verwendenden Maschinen;
- Geschwindigkeit von Aushub, Ladung und Transport der Materialien;
- Verteilungsverfahren, Schichtdicke, Verfahrensweise beim Verdichten und Anzahl der Arbeitsgänge des Geräts;
- Erfahrungswerte hinsichtlich des vorgesehenen Bauverfahrens mit ähnlichen Materialien.

7.8.2 Typen von Verdichtungsgeräten

Die Auswahl des Verdichtungsgerätetyps muss bei Festlegung des Verdichtungsverfahrens erfolgen. Die wesentlichen Gerätetypen lassen sich in Geräte, die durch Eigengewicht verdichten und Geräte, die durch Schwingungen verdichten, unterscheiden: bei Geräten, die durch ihr Eigengewicht verdichten, hängt die Verdichtungsarbeit mit der Masse des Verdichters zusammen, während die Verdichtungsarbeit beim Schwingungstyp durch die Schwingungen von Verdichtungswalze/Verdichtungsrad gesteigert wird.

Glattwalzen setzen sich aus massiven oder mit Ballast beladenen Stahlwalzenkörpern mit glattem Mantel zusammen, die an gezogenen oder selbstfahrenden Schleppern angehängt sind. In der Regel hat eine Glattwalze einen einzelnen Walzenkörper, kann jedoch auch über zwei Walzenkörper verfügen. Ihr Gewichtsbereich bewegt sich im Allgemeinen zwischen 5 t und 25 t und die Breite des Walzenkörpers variiert von 0,5 m bis zu 2,2 m.

Schafffußwalzen setzen sich aus massiven oder mit Ballast beladenen Stahlwalzen zusammen, die sich durch hervorstehende Füße oder Nocken auszeichnen, die in einer regelmäßigen Anordnung an der Oberfläche des Walzenkörpers angebracht sind. Durch Kneten des Bodens unterstützt das Fuß/Nocken-Profil die Verdichtung. Die Walzenkörper sind an gezogenen oder selbstfahrenden Schleppern angehängt. In der Regel haben Schafffußwalzen einen einzelnen Walzenkörper, größere Einheiten können jedoch anstelle von gummibereiften Rädern vier Walzenkörper haben. Ihr Gewichtsbereich bewegt sich im Allgemeinen zwischen 10 t und 40 t und die Breite des Walzenkörpers variiert von 0,5 m bis zu 2,2 m.

Giterradwalzen setzen sich aus massiven oder mit Ballast beladenen Stahlwalzen zusammen, die sich durch regelmäßig an der Oberfläche angeordnete offene Gitter auszeichnen. Durch Aufbrechen des Bodens unterstützt das Gitterprofil die Verdichtung. Die Walzenkörper sind an gezogenen oder selbstfahrenden Schleppern angehängt. In der Regel haben Giterradwalzen einen einzelnen Walzenkörper, größere Einheiten können jedoch anstelle von gummibereiften Rädern vier Walzenkörper haben. Ihr Gewichtsbereich bewegt sich im Allgemeinen zwischen 10 t und 40 t und die Breite des Walzenkörpers variiert von 0,5 m bis zu 2,2 m.

Gummiradwalzen setzen sich aus einer Reihe von massiven Gummireifen zusammen, die in Achsenpaaren um selbstfahrende oder gezogene Schlepper angeordnet sind. Im Allgemeinen werden sie für die Verdichtung von Fahrbahnbelägen eingesetzt, mitunter werden sie auch für die Verdichtung von Böden verwendet, wobei die Spalte zwischen den Gummireifen die Verdichtung unterstützen. Das übliche Betriebsgewicht bewegt sich in einem Bereich zwischen 3 t und 25 t.

7.8.3 Auswahl des Verdichtungsgeräts

Tabelle 3 — Übersicht über für verschiedene Materialarten geeignete Verdichtungsgeräte

Verdichtungsgerätetyp	Materialbezeichnung				
	Feinkörniger Boden (feuchter Zustand), Kreide	Feinkörniger Boden (trockener Zustand und Normalzustand), grobkörniger Boden (gut abgestuft)	Grobkörnige Böden	Brüchiger Fels	Fester Fels
Glattwalze (oder ohne Rüttelwalze Rüttelbetrieb)	geeignet	möglich	möglich	geeignet	ungeeignet
Gitterradwalze	geeignet	möglich	ungeeignet	geeignet	ungeeignet
Schaffußwalze mit statischer Wirkungsweise	geeignet	geeignet	ungeeignet	möglich	ungeeignet
Gummiradwalze	geeignet	geeignet	möglich	möglich	ungeeignet
Stampffußwalze	geeignet	geeignet	geeignet	möglich	möglich
Rüttelwalze	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
Rüttelplatte	möglich	geeignet	geeignet	möglich	möglich
Rüttelstampfer	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	ungeeignet
Verdichter zur hochenergetischen Schlagverdichtung (HEIC, en: high energy impact compactor)	ungeeignet	geeignet	geeignet	möglich	möglich
Impulsverdichter (RIC, en: rapid impact compactor)	ungeeignet	geeignet	möglich	möglich	möglich

Legende

	geeignet
	möglicherweise geeignet, abhängig von der genauen Gerätegröße und Schichtdicke
	generell ungeeignet

7.9 Auffüllungen unter Wasser

7.9.1 Allgemeines

Während der Entwurfsphase muss die Möglichkeit einer Trockenlegung, sodass die Erdbewegungs- und Auffüllungsmaßnahmen in trockenen Verhältnissen durchgeführt werden können, untersucht werden.

Besonderes Augenmerk muss hierbei auf Maßnahmen zur Sicherheit an allen Baustellen mit Vorkommen von weichen Böden gelegt werden, entweder durch Abtragung, Austausch, Verdrängung, Verbesserung des weichen Bodens oder durch andere Maßnahmen zur Stabilisierung.

Besondere Angaben zu den Baugrundbedingungen, zusätzlich zu den Bodenverhältnissen, die für die Planung von Auffüllungen unter Wasser maßgeblich sind, sind wie folgt:

- Geometrie der Baustelle, einschließlich der Randbedingungen;
- Topographie;
- Zugangsmöglichkeiten;
- Neigungen und Beschränkungen der lichten Höhe;
- Wassertiefe sowie Neigung und Topographie des Meeresbodens;
- bestehende unterirdische Bauwerke, Rohrleitungen und Leitungen, Versorgungseinrichtungen, bekannte Verunreinigungen und archäologisch bedingte Einschränkungen;
- Beschränkungen in Bezug auf Umweltfaktoren, einschließlich Lärm, Schwingungen, Bodenbewegungen, Verschmutzung und Auswirkungen jahreszeitlich bedingter Wetteränderungen, einschließlich gefrorener Geländeoberflächen;
- meteorologische Daten und Umweltdaten, wie z. B. Wellen, Strömung und Gezeiten.

7.9.2 Ausführung

Bei Auffüllungsarbeiten unter Wasser müssen besondere Gesichtspunkte berücksichtigt werden.

Eine Auffüllung unter Wasser kann ausgeführt werden durch:

- Aufschüttung von oberhalb des Wasserspiegels;

Aus Sicherheitsgründen wird das Auffüllmaterial in einer Entfernung von mindestens 5 m von der Füllkante abgeladen und mit einer Planierdrape heruntergeschoben oder mit einem Bagger eingebaut.

- Aufschüttung von einem Leichter aus.

Eine Auffüllung von einem Leichter aus kann aufgrund von Erwägungen hinsichtlich der Sicherheit (Standssicherheit, Errichtung der Auffüllung vom tiefsten Punkt aus zum Festland hin) oder der Güte der Auffüllung (homogenere Beschaffenheit der Auffüllung) notwendig sein.

Falls zeitgleich mit der hauptsächlichen Auffüllung die Errichtung einer Gegenfüllung (Stützfüllung) vorgesehen ist, darf der Höhenunterschied zwischen der Gegenfüllung und der Hauptauffüllung aus Gründen der Standssicherheit zu keiner Zeit den letztendlichen Höhenunterschied des Entwurfs überschreiten. Die Auffüllung wird in Übereinstimmung mit den vorgesehenen Schichtdicken, usw. durchgeführt.

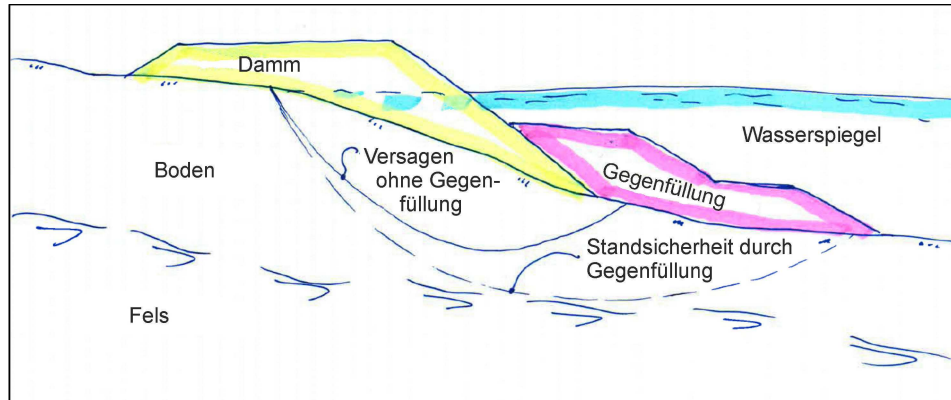


Bild 9 — Auffüllung unter Wasser

Der Damm wird bis unmittelbar oberhalb der Wasserlinie eingebaut. Anschließend muss eine normale Verdichtung durchgeführt werden, beispielsweise durch Verwendung einer Stampffußwalze mit einer Linienlast zwischen 30 kN/m und 45 kN/m und mit 6 bis 10 Arbeitsgängen. Für weitergehende Auffüllungen oberhalb des Wasserspiegels werden die normalen Verfahrensweisen für verdichtete Auffüllungen angewendet.

Falls besondere Anforderungen hinsichtlich Verformungen gegeben sind, darf die Auffüllung durch eine dynamische Tiefenverdichtung oder eine zeitweilige Auflast verdichtet werden.

Schutz gegen Erosion und Wellenschlag ist entsprechend des Entwurfs einzubauen.

7.9.3 Auffüllmaterial

In der Regel werden grobkörnige Materialien und Felsgestein für Dämme unter Wasser als geeignet angesehen. Falls die Auffüllung für den Einbau hinter einem Landungssteg aus Felsgestein oder Fangedamm vorgesehen ist, können auch andere Materialien, wie Schluff, Sand oder Kies für das Auffüllen unter Wasser verwendet werden.

Auffüllmaterialien aus Felsgestein für Dämme werden üblicherweise aus Felseinschnitten für Straßen/Schienenwege, durch Tunnelbaumaßnahmen oder aus Entnahmegruben erhalten. Gesprengtes Gestein aus dem Tagebau verfügt in der Regel über eine vorteilhafte Größenverteilung und ist deswegen zu bevorzugen. Die ausschlaggebenden Faktoren hierbei sind Felsart und Sprengverfahren.

Im Allgemeinen ist die Beschaffenheit des Felsgesteins zufriedenstellend, jedoch sind manche Felsarten ungeeignet (verwittertes Gestein und wasserempfindliches Material). Beispiele für Felsmaterialien von minderer Güte sind Phyllit, Glimmerschiefer und andere stark verwitterte und schieferige Gesteinsarten.

In der Regel sollte die Größe von Felsblöcken auf höchstens 1 m begrenzt werden. Falls vorgesehen ist, Stahlpfähle durch den Damm zu treiben, darf die Größe des größten Felsblocks höchstens 0,5 m betragen.

Auch Felsgestein aus Tunnelbaumaßnahmen kann geeignetes Füllmaterial für Felsdämme im Wasser darstellen, vorausgesetzt die Sprengarbeiten wurden dementsprechend angepasst.

Durch eine TBM (Tunnelbohrmaschine) ausgehobene Materialien sind zu einem hohen Grad gebrochen und können eine Korngrößenverteilung ähnlich der von Sand/Kies aufweisen. Dieses Material eignet sich für Geländeaufhöhungen, jedoch nicht für Dämme im Wasser, außer es wird als Hinterfüllung für einen Landungssteg aus Felsgestein oder einen Fangedamm eingebaut.

Entsprechend der Erfahrungswerte darf von einem Ausdehnungskoeffizienten von massivem Felsgestein zu gesprengtem Felsmaterial ausgegangen werden, wie folgt:

- Damm oberhalb des Wasserspiegels: 1,35 bis 1,45;
- Damm im Wasser: 1,50 bis 1,55.

Bei der Errichtung von Dämmen im Wasser ist es wichtig, zu berücksichtigen, dass zusätzlich zum aus Querschnittsprofilen errechneten Volumen ein Zuschlag um bis zu 20 % erforderlich ist. Der Grund hierfür liegt darin, dass ein nicht unbeträchtlicher Teil der Materialien aufgrund von Ungenauigkeiten beim Auffüllverfahren oder starken Strömungen, Verformungen innerhalb der Auffüllung und Verschiebungen des Untergrunds nicht in der Auffüllung verbleiben.

7.9.4 Dammböschungen

Beim Entwurf und während des Baus muss die Neigung der Dammböschungen berücksichtigt werden.

Nachstehend sind die für Felsauffüllungen normalen Böschungsneigungen aufgeführt. Steilere Böschungen werden in Bezug auf die Standsicherheit als nicht zufriedenstellend angesehen.

Durch die nach geotechnischen Bemessungsnormen berechneten Sicherheitsspielräume für die Stabilität der Oberfläche kann für die Böschung ein geringerer Neigungswinkel erforderlich sein.

Auch bei Böschungen, die äußeren Kräften und Umwelteinflüssen (Strömungen, Wellenschlag, Eisgang, usw.) ausgesetzt sind, kann, neben anderen Gegenmaßnahmen, eine Neigungsverringering notwendig sein. Bei Dämmen, die mit aus Sprengungen stammenden Felsen von geringer Güte und/oder schieferiger Ausbildung (Schiefer) und einer ungünstigen Korngrößenverteilung (hoher Gehalt an Feinanteilen) oder durch Kippauftrag errichtet werden, kann die Neigung von Seitenböschungen unter Umständen weitaus geringer ausfallen.

Tabelle 4 — Empfohlene Höchstneigungen von Dammböschungen unter Wasser in Abhängigkeit von Felsgüte und Gewinnungsverfahren

Gewinnungsart	Empfohlene Höchstneigung von Seitenböschungen unter Wasser	
	Hohe Felsgüte und würfelförmige Felsblöcke	Mindere Felsgüte und schieferiges Gestein
Sprengungen im Tagebau	1:1,3	1:1,5 bis 1:2
Sprengungen im Tunnelbau	1:1,3 bis 1:1,5	1:1,5 bis 1:1,6
Tunnelbohrmaschine	nicht anwendbar	nicht anwendbar

Um ein Gleiten an der Stirnseite der Auffüllung zu vermeiden und um für die Sicherheit der Arbeiter auf der Auffüllung zu sorgen, muss die Neigung von Dammböschungen beobachtet werden. Steilabfälle müssen erkannt und die Neigung verringert werden.

Die Beobachtung von Böschungsneigungen darf durch gängige Profilierungsverfahren (Sondierung) oder mithilfe eines Echolots durchgeführt werden.

Der Ausgleich von Böschungsneigungen kann mithilfe eines Baggers oder, falls ein Überhang oder eine zu steile Böschung beobachtet werden, durch Sprengung erfolgen.

Die Notwendigkeit von Sprengarbeiten sollte bewertet und eine ausführliche Planung erstellt werden.

7.9.5 Austausch/Verdrängung von weichem Boden

Falls im Entwurf festgelegt, muss eine Bewertung von Austausch oder Verdrängung von weichen Böden erfolgen.

Der Austausch von weichem Boden kann während des Auffüllungsvorgangs durch Aushub am Fuß der Auffüllung durchgeführt werden, sodass sichergestellt wird, dass das Auffüllmaterial bis auf den stabilen (festen) Boden vordringen kann. Die Verdrängung von weichem Boden kann durch Sprengung erfolgen und es sind besondere Vorgehensweisen bei Bemessung und Ausführung erforderlich. Um für sichere Bedingungen bei der Auffüllung zu sorgen, sind bei beiden Verfahren besondere Arbeitsabläufe erforderlich.

Während der Planungsphase muss ein Plan zur Überwachung der Verdrängung erstellt werden. Es muss genau überwacht werden, dass sämtliche Vorkommen an weichem Boden unter der Dammsohle während der Auffüllungsarbeiten verdrängt werden. Durch Sprengstoffe, die am Boden von Stahlrohren platziert und dann in den Baugrund eingebracht werden, wird der weiche Boden gestört und ein örtliches Versagen unter dem vorderen Abschnitt der Auffüllung ausgelöst. Der weiche Boden wird dann durch die Masse des Auffüllmaterials verdrängt.

Für eine zufriedenstellende Verdrängung von weichem Boden sind in der Regel aufeinanderfolgende Sprengungen oder Aushubarbeiten am Fuß der Auffüllung notwendig. Vor und nach den Sprengungen muss die Dammoberfläche an unterschiedlichen Stellen eingeebnet werden, damit entschieden werden kann, ob weitere Sprengungen erforderlich sind. Die Verdrängungswirkung kann durch einen Vergleich zwischen dem Volumen des verwendeten Felsmaterials und dem theoretischen Volumen sowie dem gemessenen Dammprofil, oder durch Bohrungen im Damm überprüft werden.

Um eine angemessene Verdrängung zu erhalten und um ein Abrutschen zu verhindern, ist bei Dämmen, die für die Verdrängung von weichem Bodenmaterial vorgesehen sind, die Verwendung großer Felsblöcke erforderlich.

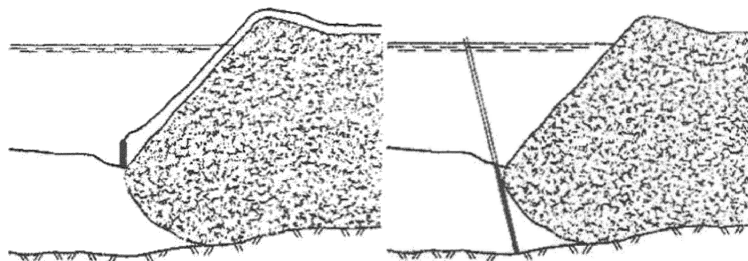


Bild 10 — Anordnung von a) gerichteten Sprengladungen und b) Stahlrohr mit Sprengladung

In der Regel werden die Stahlrohre für die Sprengung in den Baugrund geschoben oder getrieben. Diese Arbeiten werden von einer Schwimmplattform oder von Booten aus durchgeführt. Bewährt hat sich der Einsatz einer Bohranlage oder einer vergleichbaren hydraulischen Vorrichtung.

8 Erdbauplanum (Bodenplanum und Unterbau)

8.1 Allgemeines

Das Planum oder Bodenplanum ist ein wesentlicher Bestandteil eines Erdbauwerks, da es die Schnittstelle zum Oberbau darstellt. In der Regel gelten besondere Anforderungen hinsichtlich Geometrie, Bewässerung, Elastizitätsmodul oder Tragfähigkeit.



Bild 11 — Erdbauplanum

8.2 Untergrund

Der Untergrund bezeichnet das Material unter dem Unterbau. Er kann natürlich gewachsen sein, beispielsweise in einem Einschnitt, oder aus Auffüllmaterial bestehen, wie in einem Damm.

Der erste Schritt bei Entwurf und Bemessung ist die Bewertung des natürlich gewachsenen Untergrunds. Der zweite Schritt besteht in der Festlegung von für den Unterbau angestrebten Werten und den damit verbundenen Verbesserungen des Untergrundes, sofern maßgeblich.

ANMERKUNG 1 Bei natürlich gewachsenem Untergrund beträgt die Dicke des Untergrunds, die den Elastizitätsmodul oder den CBR-Wert des Oberbaus ergibt, etwa 1 cm.

Der Untergrund in einem Einschnitt kann durch Austausch oder Behandlung des Bodens mit Bindemittel auf eine durch den Entwurf festgelegte Dicke (in der Regel weniger als 1 cm) verbessert werden. Dennoch stellt eine Entwässerung immer noch die erste Möglichkeit dar, die für eine langfristige Tragfähigkeit des Untergrunds in Betracht zu ziehen ist.

Während des Baus ist die Entwässerung im Allgemeinen ein Haltepunkt beim Prozess der Qualitätssicherung, an dem sichergestellt wird, dass das durch den Entwurf gesetzte Ziel erreicht wurde.

Großerdbewegungen sollten so geplant werden, dass der Untergrund/Unterbau im Lauf der Erdbauarbeiten überprüft und, falls notwendig, angepasst werden kann.

ANMERKUNG 2 Der Untergrund wird im Allgemeinen durch Merkmale wie Tragfähigkeit oder Elastizitätsmodul sowie nach geometrischen Kriterien, z. B.:

- Quergefälle (z. B. 3,2 %), das sich bei Großerdbewegungen unterscheiden kann (z. B. 4 %);
- Erhebung (z. B. ± 5 cm);
- Breite (z. B. 0/+ 15 cm).

gekennzeichnet.

Vor der letztendlichen Aufnahme kann der Untergrund durch Befahren mit beladenen Lastkraftwagen auf weiche Stellen geprüft werden.

8.3 Deckschicht

Die Deckschicht muss wasserunempfindlich und frostbeständig sein und, sofern maßgeblich, ein geringes Frosthebungspotential haben.

Die Deckschicht ist im Allgemeinen so ausgelegt, dass eine Homogenität der Oberfläche des Planums (Bodenplanum) erreicht wird, der Untergrund geschützt wird, und dass darauf stark verdichtete Schichten eingebaut werden können (z. B. untere Tragschichten).

Die Deckschicht sollte aus einem der folgenden Materialien bestehen:

- gut abgestuftes grobkörniges Material;
- Schotter aus festem Fels;
- stabilisierter Boden nach Teil 4 dieser Norm.

Wenn Mindestwerte der Tragfähigkeit oder des Elastizitätsmoduls benötigt werden, wird im Entwurf im Allgemeinen eine höhere Dichte gefordert.

Die Ausführung der Deckschicht muss nach Überprüfung des Unterbaus (Untergrund) erfolgen (Geometrie, Entwässerung und mechanische Merkmale).

Besonderes Augenmerk muss auf den Transport auf stabilisierten Schichten gelegt (hauptsächlich aufgrund der Nachbehandlungszeit, insbesondere bei der Stabilisierung mit Zement), und bei der Bemessung berücksichtigt werden.

Während des Einbaus wird darauf geachtet, eine Entmischung der Materialien (größere Elemente am Boden der Schicht, kleinere Elemente im oberen Teil) zu verhindern.

Die Auftragung durch einen LKW (Kippen) muss auf der schon eingebauten Deckschicht erfolgen, die anschließende Verteilung muss mit der geeigneten Ausrüstung erfolgen.

Ein Erdbauplanum auf Grundlage der Deckschicht zeichnet sich im Allgemeinen durch seine Tragfähigkeit oder seinen Elastizitätsmodul sowie durch geometrische Kriterien, wie die folgenden aus:

- Quergefälle (z. B. 2,5 %), das vom Quergefälle des Unterbaus abweichen kann, wodurch sich die Materialmenge erhöht;
- Erhebung (z. B. ± 2 cm oder ± 1 cm). Durch strenge Vorgaben an die Deckschicht können die Dicken der darüber liegenden Schichten, die im Allgemeinen kostenintensiver ausfallen, verringert werden.

Der Höchstdurchmesser muss im oberen Teil der Schicht begrenzt werden, damit die durch den Entwurf vorgesehene letztendliche Ausformung erreicht werden kann (z. B. 0/60 mm, um ± 2 cm zu erreichen).

Eine grobkörnige Deckschicht kann aus einer oder zwei Schichten bestehen (z. B. Schotter 0/250 mm + 0/31,5 mm), wobei die obere der Schichten profiliert und feinplaniert werden kann.

Um Problemstellungen ggf. vorhersehen zu können, wird vor dem Einbau der Deckschicht unbedingt eine Versuchsverdichtung empfohlen.

Muss die Deckschicht hochleistungsfähig sein, empfiehlt sich eine Versuchsverdichtung auf einer Dicke von 1,5 m, um den inhärenten Modul der Deckschicht zu bewerten (z. B. zum Erreichen von $E_{V2} > 120$ MPa).

Anhang A (informativ)

Verwendungsbedingungen für die Hauptgruppen der Materialien

A.1 Einleitung

Hinsichtlich der Verwendung von Materialien verfügt jedes europäische Land über seine eigenen nationalen Praktiken, die auf Erfahrungswerten beruhen und die als bewährt und angemessen angesehen werden.

Dieser Anhang vermittelt eine Zusammenfassung der grundlegenden europäischen Praktiken, auf Grundlage der vor Ort vorhandenen Materialien, den örtlichen Klimabedingungen und den wirtschaftlichen Bedingungen vor Ort.

Es muss daran erinnert werden, dass jeder Eigentümer in jedem Land seine eigenen Spezifikationen erstellen kann, die je nach Art des Projekts und der zulässigen Risiken in hohem Maße unterschiedlich ausfallen.

Das Ziel bei Erdarbeiten liegt darin, mit möglichst geringem Energieverbrauch und Kostenaufwand das vorgegebene Qualitätsniveau zu erreichen.

Alle diese Gesichtspunkte gelten auch für die Verdichtung, die bei der Gewährleistung der Gebrauchstauglichkeit eines Erdbauwerks eine tragende Schlüsselrolle spielt. In diesem Anhang werden verschiedene Praktiken vorgestellt, die in einem gegebenen Rahmen maßgeblich sein können; von der Verdichtung von trockenen Materialien mit schwerem Gerät in heißem Klima (Südeuropa) bis zum Bau mit Wartezeiten zur Sicherstellung einer inneren Konsolidierung von feuchten feinkörnigen Böden mit geringer Plastizitätszahl (Nordeuropa).

Die an dieser Stelle aufgezeigten technischen Möglichkeiten stellen lediglich einen Weg zur Handhabung einer gegebenen Gruppe an Materialien dar und dürfen nicht als Ersatz für die Spezifikationen von Eigentümern oder nationalen Praktiken in den entsprechenden Bereichen und insbesondere nicht für den Referenz-Proctorversuch herangezogen werden.

A.2 Feinkörnige und gemischtkörnige Materialien

A.2.1 Gesichtspunkte hinsichtlich der Klassifizierung

Dieser Abschnitt bezieht sich auf gemischtkörnige und feinkörnige Böden, d. h. Bodenklassen die nach Teil 2 dieser Norm mit 15 % Feinanteilen festgelegt sind.

Die Erkennung und Klassifizierung von Materialien muss nach der Klassifizierung entsprechend Teil 2 dieser Norm durchgeführt werden.

Materialien mit über 35 % an Feinanteilen können aufgrund des Vorhandenseins von aktiven Tonteilchen ein besonderes Verhalten aufweisen. Am häufigsten tritt ein hohes Schwell- und Schrumpfpotential auf, das mit dem schwankenden Wassergehalt verbunden ist. Solches Material wird als „empfindlich“ bezeichnet. Nähere Ausführungen hierzu finden sich in Abschnitt A.9 dieses Anhangs.

Es bestehen auch andere Verhaltensarten, wie beispielsweise das Verhalten von Quickton oder dispersivem Ton, diese Materialien sind jedoch nicht Gegenstand dieser Norm.

A.2.2 Definition der Zustände von feinkörnigen und gemischtkörnigen Böden

Für die Festlegung des Verdichtungsvorgangs wurden auf Grundlage des Wassergehaltes des Bodens vier Zonen festgelegt:

- **Zone A.** Trockenzone. Die Böden in dieser Zone haben einen Wassergehalt unterhalb des durch den modifizierten Proctorversuch festgelegten Trockenheitsgrenzwertes.

Dieser Trockenheitsgrenzwert sollte auf nationaler Ebene festgelegt werden und kann Folgendem entsprechen:

- der Schnittmenge zwischen der Proctorkurve und einem prozentualen Anteil der optimalen Trockendichte (% ODD), die im modifizierten Proctorversuch auf der linken Seite der Kurve (Wassergehalt unterhalb des im Proctorversuch erhaltenen Wassergehalts) erhalten wird; oder
 - einer vertikalen Linie, die dem Wassergehalt unterhalb des optimalen Wassergehaltes abzüglich eines Wertes (M %) entspricht.
- **Zone B.** Zone der modifizierten Proctordichte: Zwischen der Trockenheitsgrenze aus dem modifizierten Proctorversuch und der Trockenheitsgrenze aus dem normalen Proctorversuch.

Diese Trockenheitsgrenze des normalen Proctorversuchs sollte in ähnlicher Weise festgelegt werden, wie beim vorstehend ausgeführten Verfahren für den modifizierten Proctorversuch.

- **Zone C.** Zone der normalen Proctordichte: Zwischen den Trockenheits- und Nässegrenzwerten des normalen Proctorversuchs.

Dieser Nässegrenzwert sollte auf nationaler Ebene festgelegt werden und kann Folgendem entsprechen:

- der Schnittmenge zwischen der Proctorkurve und einem prozentualen Anteil der optimalen Trockendichte (% ODD), die im modifizierten Proctorversuch auf der rechten Seite der Kurve erhalten wird; oder
 - einer vertikalen Linie, die dem Wassergehalt oberhalb des im normalen Proctorversuch erhaltenen optimalen Wassergehalts plus einem Wert (m %) entspricht.
- **Zone D.** Nasse Zone, in dem die Böden einen Wassergehalt oberhalb des im normalen Proctorversuch erhaltenen Nässegrenzwerts plus einem Wert (m%) aufweisen.

Im Folgenden sind diese Zonen dargestellt: